



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR

Johanna Aprilia
NRP 2211100178

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wirawan, DEA
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

OFDM ACOUSTIC MODEM ANALYSIS USING TMS320C6416 IN UNDERWATER CHANNEL ENVIRONMENT

Johanna Aprilia
NRP 2211100178

Supervisor
Dr. Ir. Wirawan, DEA
Ir. Titiek Suryani, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

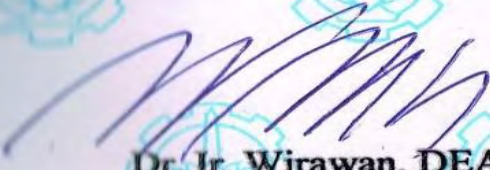
**ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGGUNAKAN
TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR**

TUGAS AKHIR


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

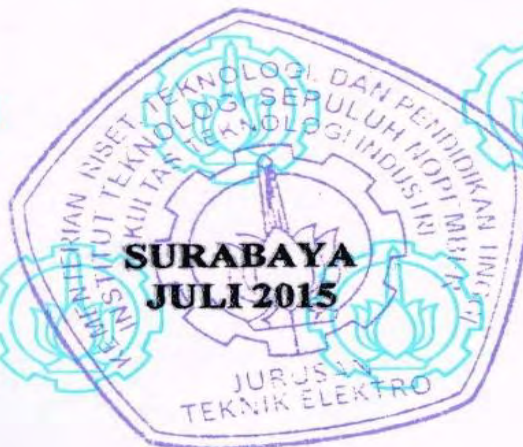
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,


Dr. Ir. Wirawan, DEA
NIP. 196311091989031011

Dosen Pembimbing II,


Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T
NIP. 196411301989032001



ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR

Johanna Aprilia
NRP. 2211100178

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRAK

Saat ini banyak penelitian untuk membangun sebuah jaringan sensor nirkabel bawah air yang menggunakan sinyal akustik yang bersifat *realtime* serta kapabilitas untuk *self-configuration* dan membawa keuntungan yang signifikan untuk aplikasi seperti eksplorasi komersial, perlindungan wilayah dan deteksi ancaman militer.

Perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air menuai banyak paradigma yang sebaiknya ditinjau kembali. Diantaranya adalah bandwidth yang tersedia terbatas, delay propagasi pada kanal bawah air lima kali lebih besar dibandingkan kanal HF. Serta Bit Error Rate (BER) yang tinggi dan kehilangan koneksi yang sementara bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air tersebut.

Analisis kinerja modem OFDM dilakukan pada penelitian ini. Dengan berhasilnya sistem pada kanal ideal, selanjutnya disimulasikan pada kanal AWGN serta kanal Rayleigh dimana kanal ini dapat merepresentasikan kanal bawah air. Kinerja sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik dimana BER mencapai 0,5115 pada kanal bawah air yang direpresentasikan melalui speaker dan microphone. Hal ini disebabkan belum adanya sinkronisasi fasa dan carrier serta estimasi kanal.

Kata Kunci : Sistem Komunikasi Bawah Air, OFDM.

ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR

Johanna Aprilia
NRP. 2211100178

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRAK

Saat ini banyak penelitian untuk membangun sebuah jaringan sensor nirkabel bawah air yang menggunakan sinyal akustik yang bersifat *realtime* serta kapabilitas untuk *self-configuration* dan membawa keuntungan yang signifikan untuk aplikasi seperti eksplorasi komersial, perlindungan wilayah dan deteksi ancaman militer.

Perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air menuai banyak paradigma yang sebaiknya ditinjau kembali. Diantaranya adalah bandwidth yang tersedia terbatas, delay propagasi pada kanal bawah air lima kali lebih besar dibandingkan kanal HF. Serta Bit Error Rate (BER) yang tinggi dan kehilangan koneksi yang sementara bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air tersebut.

Analisis kinerja modem OFDM dilakukan pada penelitian ini. Dengan berhasilnya sistem pada kanal ideal, selanjutnya disimulasikan pada kanal AWGN serta kanal Rayleigh dimana kanal ini dapat merepresentasikan kanal bawah air. Kinerja sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik dimana BER mencapai 0,5115 pada kanal bawah air yang direpresentasikan melalui speaker dan microphone. Hal ini disebabkan belum adanya sinkronisasi fasa dan carrier serta estimasi kanal.

Kata Kunci : Sistem Komunikasi Bawah Air, OFDM.

OFDM ACOUSTIC MODEM ANALYSIS USING TMS320C6416 IN UNDERWATER CHANNEL ENVIRONMENT

Johanna Aprilia
2211 100 178

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Supervisor II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRACT

There are lot of research to deploy underwater sensor network using acoustic signal that will enable to real-time monitoring and capabilities for self-configuration and bring advantage significantly for application such as commercial application, monitoring area, and military detection.

The significantly different characteristics of communication in water require many networking paradigms to be revisited. Consequently, the major challenges in the design of underwater sensor networks are the available bandwidth is severely limited, propagation delay under water is five orders of magnitude higher than that in RF terrestrial channel and extremely variable, high bit error rates and temporary losses of connectivity can be experienced due to the extreme characteristics of under water channel.

OFDM acoustic modem analysis using TMS320C6416 in underwater channel environment is proposed. The result is present in ideal channel, then simulated it AWGn and Rayleigh channel which represented the underwater channel. The System has not reach the best performance which the BER is still 0,5115 in underwater channel represented by speaker and microphone. This is because there is not channel estimation and carrier synchronization in the system.

Keyword : Underwater Communication System, OFDM

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah diberikanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan TugasAkhir yang berjudul:

“ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR”

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata I pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung serta membantu penulis dalam menyelesaikan TugasAkhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Wirawan dan Ibu Dr. Ir Titiek Suryani, selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Endroyono selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia JurusanTeknik Elektro ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Tri Arief Sardjono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI ITS Surabaya.
4. Kedua Orang Tua saya, Bapak Rosidhi dan Ibu Trisiana yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa.
5. Teman-teman Teknik Elektro ITS khususnya Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia dan seluruh warga Laboratorium Komunikasi Multimedia B304. Semua rekan-rekan yang banyak terlibat dalam pengerjaan tugas akhir ini dan tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Penulis

Johanna Aprilia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
1 DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
1 BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	4
1.7 Relevansi	4
2 BAB 2.....	6
2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air	6
2.1.1 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air	7
2.1.2 Area Penelitian Komunikasi Bawah Air	8
2.1.3 Karakteristik Kanal Bawah Air	8
2.2 Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK).....	9
2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....	10
2.4 Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) [4].....	11
2.5 Cyclic Prefix.....	12
2.6 Spektrum Square Root Raised Cosine	13
2.7 Digital Signal Processor Starter Kit (DSK) TMS320C6416DSK	15

2.8	Code Composer Studio [4]	17
2.9	Simulink	18
3	BAB 3	20
3.1	Desain Sistem OFDM	20
3.1.1	Rangkaian OFDM Frame untuk 16 dan 32 Subcarrier	22
3.1.2	Rangkaian OFDM Frame untuk 64, 128, 256 Subcarrier	23
3.2	Skenario Pengukuran.....	28
3.2.1	Simulasi pada MATLAB Simulink.....	28
3.2.2	Implementasi pada TMS320C6416	31
4	BAB 4 PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISIS SISTEM...34	
4.1	Analisa Sistem OFDM pada Simulasi	34
4.2	Analisa Sistem OFDM pada Kanal Bawah Air dengan Simulink	36
4.2.1	16 Subcarrier.....	36
4.2.2	32 Subcarrier.....	38
4.2.3	64 Subcarrier.....	40
4.2.4	128 Subcarrier.....	42
4.2.5	256 Subcarrier.....	44
4.3	Analisa Sistem OFDM pada TMS320C6416	46
4.4	Analisa Kanal Bawah Air.....	47
5.	BAB 5 PENUTUP	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran.....	50
	DAFTAR PUSTAKA.....	52
	BIOGRAFI PENULIS.....	54
	LAMPIRAN	56
A.	Instalasi dan Deteksi Perangkat Lunak.....	56
B.	Integrasi MATLAB Simulink dengan CCS v3.1	57
C.	Blok Diagram Simulink	61

5.3	Blok diagram sistem secara umum	61
5.4	Blok diagram sistem pemancar simulasi	62
5.5	Blok diagram sistem penerima simulasi	63
5.6	Blok diagram sistem pemancar implementasi	64
5.7	Blok diagram rangkaian Subcarrier 16, 32	65
5.8	Blok diagram rangkaian Subcarrier 64, 128, 256, 512	65
5.9	Blok diagram Modulator	66
5.10	Blok diagram Demodulator	66
5.11	Blok diagram deteksi data	66
5.12	Blok diagram Gain	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Mapping</i> Modulasi QPSK	20
Tabel 3.2 Ketentuan perangkat keras untuk simulasi	29
Tabel 4.1 Bit Error Rate masing – masing subcarrier pada implementasi	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Path</i> propagasi dasar lautan. <i>Direct Path</i> (DP) b. <i>Surface Duct</i> (SD) c. <i>Bottom bounce</i> (BB) d. <i>Convergence Zone</i> (CZ) e. <i>Deep Sound Channel</i> (DSC) dan f. <i>Reliable Acoustic path</i> (RAP)	9
Gambar 2.2 Konstelasi sinyal QPSK.....	10
Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi OFDM.....	11
Gambar 2.4 Fungsi dari <i>Cyclic Prefix</i>	12
Gambar 2.5 <i>Cyclic Prefix</i> pada OFDM	13
Gambar 2.6 (a) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Waktu, (b) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Frekuensi	14
Gambar 2.7 (atas) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Domain Waktu, (bawah) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Frekuensi	15
Gambar 2.8 DSK TMS320C6416T	16
Gambar 2.9 Blok Diagram Skematik DSK TMS320C6416T.....	16
Gambar 2.10 Tampilan Code Composer Studio v3.1	18
Gambar 2.11 <i>Library Browser</i> Simulink	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem OFDM pada Simulink	21
Gambar 3.2 Konstelasi QPSK	22
Gambar 3.3 Model OFDM Frame Subcarrier 16 dan 32	22
Gambar 3.4 Susunan data paralel subcarrier 16 dan 32.....	23
Gambar 3.5 Model OFDM frame subcarrier 64, 128, 256	23

Gambar 3.6	Susunan data parallel subcarrier 64, 128, 256, 512	24
Gambar 3.7	Susunan data serial subcarrier 16	25
Gambar 3.8	Susunan data serial subcarrier 32	25
Gambar 3.9	Susunan data serial subcarrier 64	25
Gambar 3.10	Susunan data serial subcarrier 128	25
Gambar 3.11	Susunan data serial subcarrier 256	25
Gambar 3.12	Penempatan 0 sebelum filter	26
Gambar 3.13	Konsep Kerja Modulator[6]	26
Gambar 3.14	Blok diagram skema perbaikan delay.....	27
Gambar 3.15	Program untuk simulasi Simulink	28
Gambar 3.16	Speaker Mono Philips	30
Gambar 3.17	pengambilan audio.....	30
Gambar 3.18	Implementasi pada TMS320C6416	31
Gambar 3.19	Program untuk menangkap suara implementasi	32
Gambar 3.20	Implementasi pada TMS320C6416	33
Gambar 4.1	Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal AWGN di subcarrier yang berbeda.....	34
Gambar 4.2	Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal Rayleigh di subcarrier yang berbeda.....	35
Gambar 4.3	Konstelasi Sistem Subcarrier 16 pengirim	36
Gambar 4.4	Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 16 Pengirim ...	37
Gambar 4.5	Spektrum Frekuensi Bandpass Subcarrier 16 Pengirim ...	38
Gambar 4.6	Konstelasi Sistem Subcarrier 32 pengirim	39
Gambar 4.7	Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 32 Pengirim ...	39
Gambar 4.8	Spektrum Frekuensi Passband Subcarrier 32	40
Gambar 4.9	Konstelasi sistem subcarrier 64 pengirim.....	41

Gambar 4.10 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 64	41
Gambar 4.11 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 64.....	42
Gambar 4.12 Konstelasi sistem subcarrier 128 pengirim	43
Gambar 4.13 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 128 pengirim .	43
Gambar 4.14 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 128 pengirim .	44
Gambar 4.15 Konstelasi sistem subcarrier 256 pengirim	45
Gambar 4.16 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 256 pengirim .	45
Gambar 4.17 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 256.....	46
Gambar 4.18 Sinyal yang dipancarkan speaker.....	47
Gambar 4.19 Sinyal yang diterima speaker pada simulasi Simulink MATLAB.....	48
Gambar 4.20 perbandingan sinyal sinus yang dikirim dan diterima....	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini banyak penelitian untuk membangun sebuah jaringan sensor nirkabel bawah air yang menggunakan sinyal akustik yang bersifat *realtime* serta kapabilitas untuk *self-configuration* dan membawa keuntungan yang signifikan untuk aplikasi seperti eksplorasi komersial, perlindungan wilayah dan deteksi ancaman militer. Namun gangguan kanal akustik berupa *multipath* yang menyebabkan ISI membuat *bandwidth* yang tersedia terbatas [1].

Teknik yang dianggap mampu untuk mengatasi hal tersebut merupakan modulasi *multicarrier* dalam bentuk pembagian frekuensi *orthogonal multiplexing* (OFDM) dengan *data rate* tinggi (3,2 Kbps) [1,2,3]. Pada OFDM digunakan teknik *spread-spectrum* yang efisien ketika *noise* melebar ke *bandwidth* yang tersedia dan juga mengurangi efek *multipath* serta efisiensi tinggi pada spektral karena durasi simbol pada masing – masing *carrier* terus meningkat [1]. Pada penelitian sebelumnya telah diimplementasikan pengirim akustik OFDM menggunakan DSK TMS320C6416, namun penerima dengan perangkat tersebut belum dioperasikan [3].

Untuk mengimplementasikan modem akustik OFDM dilakukan dengan pemrograman pada DSK TMS320C6416. DSK TMS320C6416 merupakan keluarga dari DSK TMS 320C6x yang sangat cocok digunakan untuk frekuensi suara dengan frekuensi sampel 0-96KHz [4] serta telah banyak digunakan untuk implementasi modem bawah air [2,3]. DSK tersebut digunakan karena sesuai dengan karakteristik komunikasi bawah air yang bekerja pada 10 Hz – 1000 kHz [5].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana membuat simulasi OFDM pada Matlab?
2. Bagaimana mendesain sistem OFDM untuk kanal akustik bawah air?
3. Bagaimana cara mengintegrasikan pemodelan sistem pada DSK TMS320C6416?
4. Apa beda desain sistem OFDM untuk kanal bawah air dan bukan untuk kanal bawah air?

5. Bagaimana kinerja DSK TMS320C6416 dalam melakukan proses modulasi sinyal digital serta demodulasi sinyal akustik OFDM?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Sistem yang diuji bekerja pada frekuensi baseband dan bandpass dengan mempertimbangkan frekuensi *sampling* yang digunakan
2. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan 1 DSK TMS320C6416
3. Sistem diteliti menggunakan kanal udara yakni microphone dan speaker. Parameter yang digunakan untuk pengujian sistem adalah BER.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

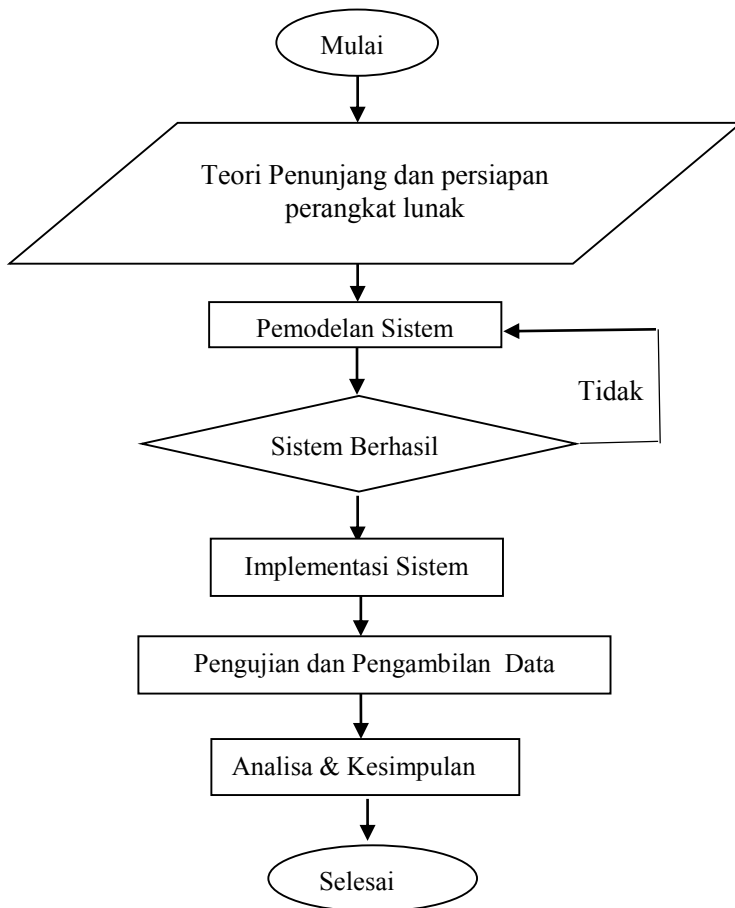
1. Merancang model simulasi modem akustik OFDM yang sesuai dengan karakteristik DSK TMS320C6416 dengan menggunakan Simulink MATLAB.
2. Mengimplementasikan model modem akustik OFDM DSK TMS320C6416 yang dinyatakan dengan bantuan perangkat lunak yang terintegrasi
3. Mengetahui dan mengimplementasikan kinerja modem akustik OFDM pada DSK TMS320C6416 yang dinyatakan dalam BER vs SNR

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan untuk Tugas Akhir ini bisa dilihat pada bagan. Proses ini merupakan langkah yang harus dilakukan secara sistematis demi kelancaran penelitian :

- Teori Penunjang dan Persiapan Perangkat Lunak : Studi yang dilakukan untuk mencari referensi yang sesuai untuk desain sistem disertai juga diskusi untuk menemukan referensi yang tepat.
- Pemodelan Sistem : Sistem dimodelkan dengan menggunakan MATLAB Simulink dan berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya.
- Simulasi Sistem : Simulasi ini akan menggunakan kanal bawah air dimana mik dan speaker sebagai media kanal bawah air dan akan dilaksanakan di Simulink.

- Implementasi Sistem : Simulasi akan dilakukan untuk memastikan sistem memiliki Bit Error Rate yang rendah. Implementasi dilakukan pada TMS320C6416T.
- Pengujian dan Pengambilan : Parameter diidentifikasi apakah sesuai dengan sistem yang seharusnya atau perlu diperbaiki.
- Analisa dan Kesimpulan : Analisa dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan serta identifikasi sistem.



1.6 Sistematika Pembahasan

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang penjelasan mengapa mengambil topik Tugas Akhir ini. Serta berisi tentang batasan masalah serta manfaat dari Tugas Akhir.

Bab II Jaringan Sensor Nirkabel dan Multihop

Berisi tentang dasar teori penunjang untuk pengerjaan Tugas Akhir ini. Diantaranya adalah OFDM, Simulink, dan Cyclic Prefix. Teori ini bertujuan untuk membantu pemahaman dan pengaplikasian.

Bab III Perancangan Sistem Monitoring

Pada bab ini dijelaskan mengenai desain sistem yang dibuat untuk pengimplementasian alat. Desain sistem mulai dari pemancar dan penerimanya serta blok diagram juga dijelaskan.

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari implementasi desain pada alat TMS320C6416. Setelah hasil diperoleh, analisa awal juga dilakukan untuk mengetahui kesimpulannya.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Hasil yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Memahami kendala, proses dan cara kerja OFDM pada TMS320C6416 untuk komunikasi bawah air
2. Membantu perkembangan teknologi modem untuk jaringan sensor nirkabel bawah air selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air

Akustik bawah air memerlukan sebuah pembangunan dan pembentukan dari akustik ke gambaran fitur bawah air, atau mengukur properti kelautan. Pada dasarnya, *modeling* merupakan sebuah metode untuk mengorganisir pengetahuan yang terakumulasi melalui observasi atau deduksi dari prinsip yang mendasari hal tersebut.

Disiplin ilmu dari akustik bawah air telah berjalan menjadi sebuah transmisi yang panjang dari fase observasi menjadi fase prediksi dan mengerti hal tersebut. Transisi ini tidak selalu mudah : observasi langsung secara tradisional terbatas, menghasilkan alat prediksi (model) tidak selalu sempurna, dan banyak perbaikan yang harus diselesaikan.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi sistem komunikasi bawah air ini, diantaranya adalah air laut itu sendiri. Air laut merupakan cairan biner yang mengandung kandungan garam yang bervariasi. Keberadaan garam tersebut mempengaruhi jumlah dari parameter yang ingin diukur, yaitu tekanan, kecepatan suara, index refraktif, titik beku, dan *density* maksimum dari temperatur.

Adapun beberapa karakteristik dari kanal bawah air yang selama 10 tahun ini telah diteliti untuk mendukung modulasi tertentu. Karakteristik kanal bawah air yang menantang membuat pembangunan modem bawah air berdasarkan non koheren *frequency shift keying* (FSK). Selama ini dibutuhkan modulasi yang bisa menekan efek multipath dengan menyisipkan waktu guard diantara pulse untuk memastikan gema yang disebabkan oleh kerasnya permukaan dan dasar laut, hilang sebelum pulsa diterima. Guard frekuensi dinamik bisa digunakan diantara frekuensi untuk adaptasi komunikasi untuk *Doppler spread* kanal.

Sebagai contoh non koheren FSK bergantung pada deteksi energy dan tidak membutuhkan *phase tracking*, yang sangat sulit karena Doppler spread pada kanal bawah air. Walaupun modulasi non koheren karakteristiknya adalah efisiensi daya yang tinggi, efisiensi bandwidth yang rendah membuat hal tersebut tidak cocok untuk jaringan banyak user dengan kecepatan data yang tinggi. Maka dari itu, teknik modulasi koheren dibuat untuk jarak yang jauh, sistem *high-throughput*.

Adapun solusi yang selama ini sedang diteliti untuk komunikasi bawah air yaitu teknik *spread-spectrum* Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), yang mana setidaknya efisien ketika noise tersebar luas ke banyak bandwidth yang tersedia. Sistem OFDM ini dengan kuat menunjukkan pencapaian efisiensi spectra yang tinggi serta lingkungan yang terkena multipath.

Berikut dijelaskan bagian dari komunikasi bawah air yaitu jaringan sensor nirkabel bawah air, serta karakteristik dan komponen pendukungnya.

2.1.1 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air

Kapabilitas yang potensial dari jaringan sensor nirkabel bawah air dan banyak variasi dari aplikasi baru yang akan tersedia memotivasi pembangunan dari teknik komunikasi dari lingkungan bawah air. Apalagi, perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air membutuhkan banyak paradigma jaringan ditinjau kembali. Konsekuensinya, tantangan utama pada desain jaringan komunikasi bawah air adalah :

1. *Bandwidth* yang tersedia biasanya terbatas
2. *Delay* propagasi pada bawah air lima kali lebih besar amplitudonya dibandingkan kanal terrestrial RF.
3. Kanal bawah air sering kali melemahkan, apalagi karena *multipath*.
4. *Bit Error Rate* yang tinggi dan kehilangan koneksi yang temporer bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air

Karakteristik propagasi dari air mengindikasikan bahwa gelombang elektromagnetik terpropagasi sepanjang jarak yang jauh lewat air laut konduktif hanya pada frekuensi yang sangat rendah yaitu 30 – 300Hz. Serta karakteristik dari jaringan sensor nirkabel bawah air adalah : pertama, sensor bawah air merupakan alat yang mahal. Apalagi karena kompleksnya penerima bawah air dan proteksi untuk perangkat keras diperlukan pada lingkungan bawah air yang ekstrim. Kedua, daya yang dibutuhkan untuk komunikasi akustik bawah air lebih besar dibandingkan komunikasi radio terrestrial karena jarak yang lebih jauh dan proses sinyal yang lebih kompleks.

2.1.2 Area Penelitian Komunikasi Bawah Air

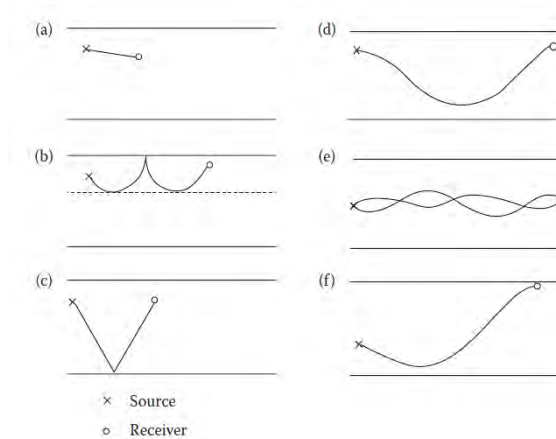
Menurut penelitian dari Angkatan Laut (Departemen Angkatan Laut Amerika Serikat, 2007), akustik laut diperhitungkan menjadi tanggung jawab dari Angkatan Laut nasional Amerika Serikat di bidang teknologi dan sains. Tiga pokok utama yang menjadi perhatian adalah : *Shallow-water acoustic*, *high-frequency acoustic*, dan *deep-water acoustic*.

1. *Shallow-water acoustic* yaitu menyangkut propagasi dan *scattering* pada energi akustik frekuensi rendah (10Hz – 3KHz) dalam lingkungan *shallow-water*.
2. *High-frequency acoustic* yaitu menyangkut interaksi dari suara *high-frekquency* (2 - 1000kHz) dalam lingkungan bawah air, dengan dilihat dari segi mitigasi atau eksploitasi dari interaksi pada deteksi akustik, klasifikasi, dan sistem komunikasi.
3. *Deep-water acoustic* yaitu menyangkut propagai akustik frekuensi rendah, *scattering*, dan komunikasi pada jarak dari 10 hingga 1000 kilometer di bawah laut dimana kanal suara bisa atau tidak bisa dibatasi dasar. Komponen yang menjadi daya tarik : efek dari variasi lingkungan dengan gelombang internal dan pasang internal.

Model ini telah digunakan secara luas untuk penelaahan ilmiah lebih lanjut tanpa menggunakan sumber daya yang langka pada observasi di bidang tertentu.

2.1.3 Karakteristik Kanal Bawah Air

Kecepatan suara di dalam air dipengaruhi oleh temperatur air, kepekaan dan tekanan air yang dipengaruhi tingkat kedalaman. Beberapa asumsi digunakan untuk memudahkan penurunan persamaan dasar akustik. Komponen gaya gesek tidak disertakan karena tidak adanya gaya gesek antar partikel, kecepatan fluida diasumsikan sangat kecil bila dibandingkan dengan kecepatan sinyal akustik yang merambat sehingga nilainya dianggap nol. Sinyal suara merambat ke berbagai arah dalam air, terpantulnya sinyal oleh permukaan dan dasar air menyebabkan *multipath*. Berikut ini merupakan *path* yang digunakan bergantung pada karakteristik kecepatan suara pada kolom air laut yang digunakan sebagai saluran transmisi dan posisi relatif penerima terhadap sumber suara.



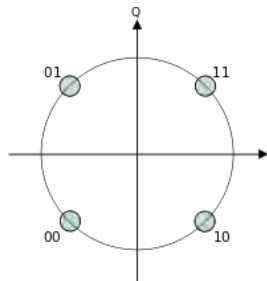
Gambar 2.1 Path propagasi dasar lautan. *Direct Path* (DP) b. *Surface Duct* (SD) c. *Bottom bounce* (BB) d. *Convergence Zone* (CZ) e. *Deep Sound Channel* (DSC) dan f. *Reliable Acoustic path* (RAP)

Path tersebut yaitu *direct path*, *surface duct*, *bottom bounce*, *convergence zone*, *deep sound channel* dan *reliable acoustic path*. Hal ini memungkinkan adanya pemakaian kombinasi dari beberapa *path* dalam teknik propagasi *multipath*. *Direct path* (a) merupakan teknik propagasi dimana sinyal bergerak secara langsung dari sumber ke penerima, biasanya pada jarak yang relatif dekat. *Surface duct* (b) adalah teknik dimana sinyal akustik secara bergantian dipantulkan oleh permukaan air laut dan dibiaskan hingga pada kedalaman *Sonic Layer Depth* (SLD). Sementara pada teknik *bottom bounce* (c), sinyal akustik dipantulkan oleh dasar laut untuk menuju ke penerima. Pada *convergence zone* (d), sinyal akustik dibiaskan pada kedalaman tertentu tanpa menyentuh permukaan maupun dasar laut. *Deep sound channel* (e) adalah teknik dimana sinyal akustik dipropagasikan pada kedalaman dimana kecepatan suaranya minimum sehingga air laut memiliki sifat seperti lensa dan dapat membiaskan sinyal. Sedangkan RAP atau *Reliable Acoustic Path* (f) adalah cara dimana sumber diletakkan pada kedalaman kritis.

2.2 Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Modulasi QPSK merupakan salah satu jenis modulasi M - quadrature Amplitude Modulation (QAM) dengan $M=4$. Bit input biner

dipisah menjadi dua kanal transmisi baseband yaitu I dan Q, kemudian pada kanal tersebut sinyal diubah menjadi sinyal PAM oleh pengubah, dari sinyal biner yang memiliki amplitude +1 dan 0, ke sinyal L level yang memiliki amplitude $+(L - 1)$ dan $-(L - 1)$, lazim disebut 2 to L Converter, dimana nilai $L = 2k/2$. Setelah sinyal menjadi sinyal PAM, lalu dimodulasi dengan modulator seimbang (balanced modulator) dengan $\sin(\omega t)$ pada kanal I dan $\cos(\omega t)$ pada kanal Q, kemudian dijumlahkan secara linier, menjadi sinyal $I+jQ$ dan sinyal menjadi sinyal termodulasi M-QAM. Gambar 2.2 menunjukan konstelasi sinyal QPSK.

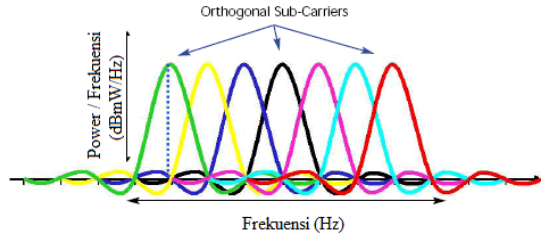


Gambar 2.2 Konstelasi sinyal QPSK

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) memiliki empat simbol yang mempunyai amplitude sama dengan fase yang berlainan. Keempat simbol tersebut dibentuk dari grup dua bit input, sehingga diperoleh empat kondisi yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11. Setiap bit menghasilkan satu dari empat fase yang mungkin, sehingga rate keluarannya adalah setengah dari rate input.

2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan teknik transmisi data kecepatan tinggi menggunakan beberapa sub carrier, sehingga kecepatan data yang ditransmisikan menjadi lebih rendah. Pada teknik transmisi OFDM setiap sub carrier tidak dialokasikan berdasarkan bandwidth yang ada, melainkan sub carrier tersebut disusun saling overlapping dan orthogonal. Sifat orthogonal diantara sub carrier inilah yang menyebabkan munculnya istilah Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai dengan 50%. Spektrum sinyal OFDM bisa dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu subcarrier. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *sub carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub carrier*.

2.4 Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) [4]

Fast Fourier Transform (FFT) adalah algoritma efisien yang biasa digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi, berdasarkan *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT mengkonversi *sequence* dalam domain waktu menjadi *sequence* domain frekuensi. FFT merupakan algoritma yang sangat efisien berdasar pada DFT, tapi dengan komputasi yang lebih sedikit.

FFT merupakan satu dari banyak yang biasa dipakai untuk proses sinyal digital untuk analisis spektrum frekuensi. Dua prosedur yang berbeda untuk menghitung FFT : *decimation-in-frequency* dan *decimation-in-time*. FFT mengurangi perkiraan perhitungan yang dibutuhkan untuk DFT. DFT sinyal *discrete-time* $x(nT)$ adalah :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{nk} \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (2.1)$$

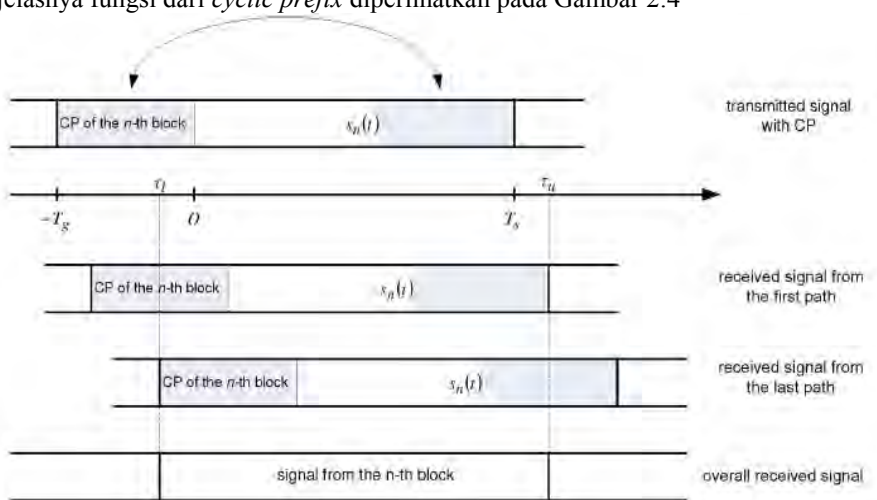
Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) mengubah *sequence* domain frekuensi $X(k)$ ke *sequence* $x(n)$ pada domain waktu. Hal tersebut didefinisikan sebagai :

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W^{-nk} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.2)$$

Dengan membandingkan persamaan (2.1) dan (2.2), bisa dilihat bahwa algoritma FFT bisa digunakan untuk menemukan Inverse FFT dengan mengubah dua cara : menambahkan faktor skala untuk $1/N$ dan mengganti W^{nk} dengan konjugasi kompleks W^{-nk} .

2.5 Cyclic Prefix

Cyclic prefix merupakan salinan bagian akhir dari suatu symbol OFDM dan menempatkannya pada bagian depan blok symbol tersebut. Tujuan dari adanya *cyclic prefix* yaitu untuk mengurangi kemungkinan terjadinya ISI bukan berarti menghilangkan. Panjang dari *cyclic prefix* harus lebih panjang daripada kanal respons impuls kanal. Untuk lebih jelasnya fungsi dari *cyclic prefix* diperlihatkan pada Gambar 2.4



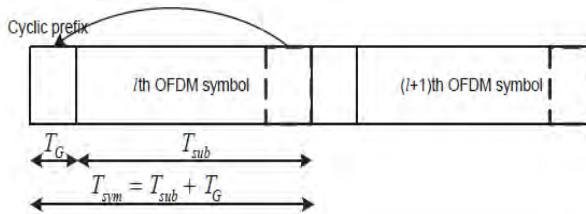
Gambar 2.4 Fungsi dari *Cyclic Prefix*

Dari gambar diatas dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan dari symbol OFDM yaitu:

$$T_{sym} = T_{sub} + T_G \quad (2.3)$$

Dimana:

T_{sub} = Panjang symbol OFDM tanpa *cyclic prefix*
 T_G = Panjang *cyclic prefix*
 T_{sym} = Total panjang symbol OFDM



Gambar 2.5 *Cyclic Prefix* pada OFDM

2.6 Spektrum Square Root Raised Cosine

Bentuk sinyal pulsa pada komunikasi digital memiliki spektrum yang lebar pada domain frekuensi. Untuk mengatasi hal tersebut pada kanal yang Band-Limited, diperlukan desain dari sinyal Band-Limited tanpa Intersymbol Interference, dengan berdasarkan teorema Nyquist. Bentuk spektrum pulsa khusus, yang memiliki properti spektral yang sesuai, dan telah umum digunakan pada prakteknya, adalah spektrum raised cosine. Karakteristik frekuensinya dapat dijelaskan melalui persamaan berikut ini:

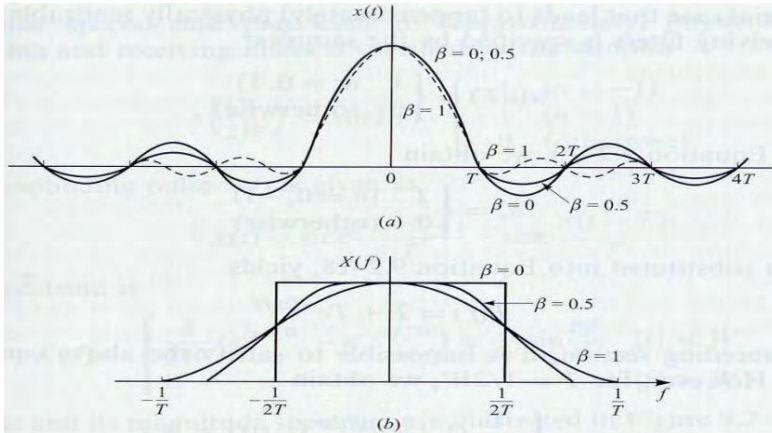
$$Z(f) = \begin{cases} T_s, & 0 \leq |f| \leq \frac{1-\beta}{2T_s} \\ \frac{T_s}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi T_s}{\beta} \left(|f| - \frac{1-\beta}{2T_s} \right) \right] \right\}, & \frac{1-\beta}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{1+\beta}{2T_s} \\ 0, & |f| > \frac{1+\beta}{2T_s} \end{cases} \quad (2.4)$$

Sedangkan persamaannya dalam domain waktu adalah:

$$z(t) = \text{sinc} \left(\frac{\pi t}{T_s} \right) \frac{\cos(\pi \beta t / T_s)}{1 - \frac{4\beta^2 t^2}{T_s^2}} \quad (2.5)$$

dimana β disebut dengan *roll-off factor*, dimana pengertiannya adalah besarnya bandwidth yang ditempati oleh sinyal melebihi frekuensi Nyquist $1/2T$. Nilai β yang semakin besar akan menghasilkan sidelobe

yang makin kecil pada domain waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 (a) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Waktu, (b) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Frekuensi

Sedangkan spektrum *square root raised cosine* memiliki hubungan dengan spektrum raised cosine pada domain frekuensi sebagai berikut:

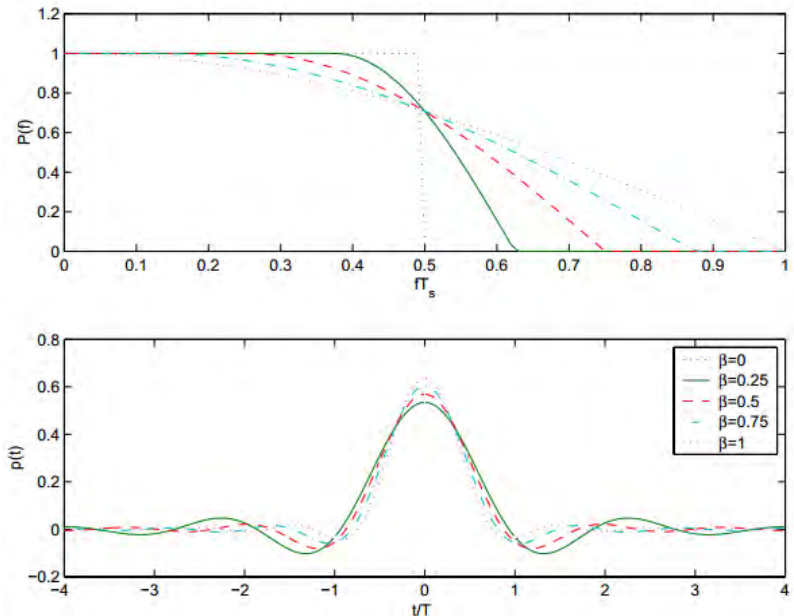
$$P(f) = |Z(f)|^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Sehingga menghasilkan bentuk pulsa yang dalam fungsi waktu dapat didefinisikan melalui persamaan berikut :

$$p(t) = \frac{2\beta}{\pi\sqrt{T_s}} \frac{\cos[(1+\beta)\pi\frac{t}{T_s}] \frac{\sin[(1-\beta)\pi\frac{t}{T_s}]}{4\beta\frac{t}{T_s}}}{[1-(4\beta\frac{t}{T_s})^2]} \quad (2.7)$$

Sama seperti bentuk pulsa raised cosine, SQRRC ini juga dipengaruhi oleh *roll-off factor* untuk menentukan bentuk *sidelobe*.

Bentuk pulsa yang dihasilkan dari persamaan diatas adalah seperti pada gambar :



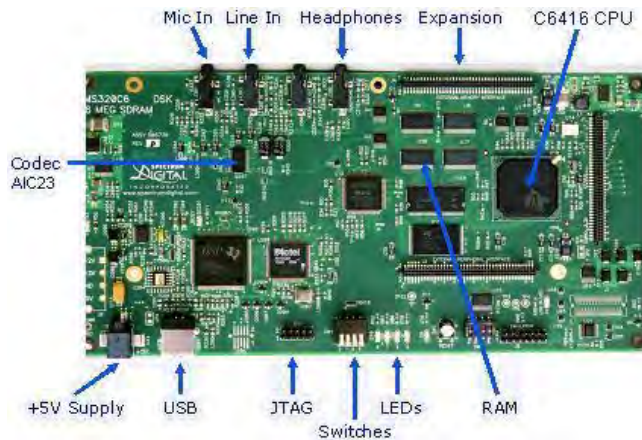
Gambar 2.7 (atas) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Domain Waktu, (bawah) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Frekuensi

2.7 Digital Signal Processor Starter Kit (DSK) TMS320C6416DSK

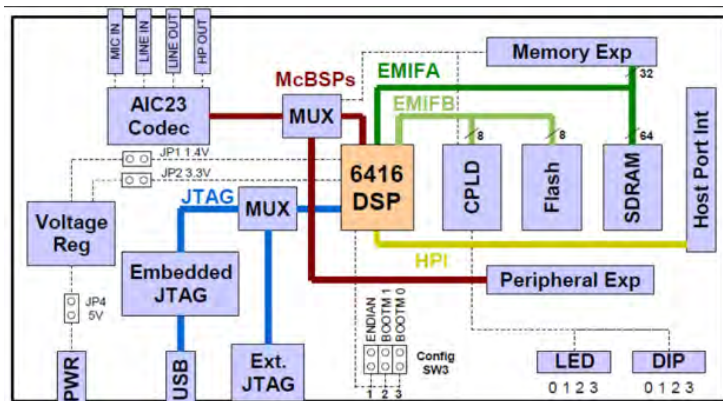
Digital Signal Processor TMS320C6416 merupakan mikroprosesor berkecepatan tinggi dengan tipe arsitektur yang cocok digunakan untuk mengolah sinyal. Notasi C6x merupakan kode dari produk DSP keluaran Texas Instruments TMS320C6000. Dengan menggunakan arsitektur *very long instruction word* (VLIW), DSP C6x menjadi prosesor tercepat keluaran Texas Instruments. Arsitektur VLIW pada DSP C6x sangat cocok untuk proses perhitungan yang intensif. Secara fisik DSK TMS320C6416T dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Untuk memudahkan dalam pemahaman, sebuah diagram skematik fungsional nya diberikan pada gambar 2.9. DSK menggunakan

suatu stereo codec dari Texas Instrument bertipe AIC23 untuk interface sinyal audio input dan output. Codec menyampel sinyal-sinyal analog pada microphone atau line input dan mengkonversikannya ke dalam bentuk data digital sehingga dapat diproses dengan DSP. Ketika DSP telah menyelesaikan pengolahan data (pemfilteran, dsb), maka codec ini juga bisa berfungsi dalam mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal output analog melalui *line out* atau headphone.



Gambar 2.8 DSK TMS320C6416T



Gambar 2.9 Blok Diagram Skematik DSK TMS320C6416T

Untuk memudahkan dalam pemahaman, sebuah diagram skematik fungsional nya diberikan pada Gambar diatas. Disini ada beberapa fitur kunci seperti:

1. Texas Instruments TMS320C6416T DSP beroperasi pada 225 MHz
2. Kode stereo AIC23
3. 8 MB DRAM sinkron
4. Memori Flash 512 KB non-volatile
5. 4 user dapat diakses LED dan DIP switch
6. Opsi boot dapat dikonfigurasi
7. Menggunakan konektor standar ekspansi untuk daughter card.
8. JTAG emulasi melalui on-board JTAG emulator dengan antarmuka USB atau eksternal emulator
9. Single tegangan catu daya (+ 5 v)

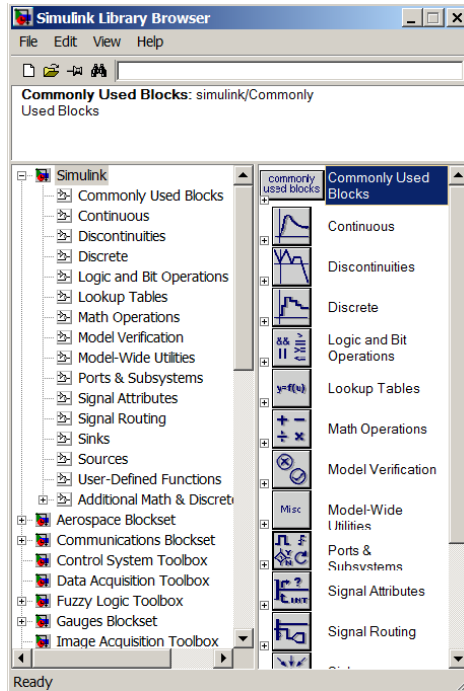
2.8 Code Composer Studio [4]

Code Composer Studio (CCS) merupakan sebuah *Integrated Development Environment* (IDE) untuk *Texas Instruments* (TI) *embedded processor* yang merupakan gabungan dari C compiler, assembler, linker, dan debugger. CCS merupakan *software easy to-use* untuk *build* dan *debug* program pada DSP processor, dan mampu melakukan analisis secara real time. IDE menyediakan *single user interface* untuk membawa setiap step dari aliran pengembangan aplikasi. *Tools* dan *interfaces* memungkinkan pengguna untuk memulai lebih cepat dan menambah fungsionalitas ke dalam aplikasi mereka berkat produktivitas dari peralatan yang canggih tersebut. Tampilan awal software CCS 3 ditunjukkan pada gambar 2.10

Untuk analisis real-time dapat menggunakan fasilitas *real-time data exchange* (RTDX) yang memungkinkan pertukaran data antara PC dan DSK tanpa melepas DSK. CCS menyediakan *sebuah integrated development environment* (IDE) yang dapat membangkitkan kode program untuk dijalankan pada DSK. Tool untuk pembangkitan kode yang terdapat di dalam CCS yaitu C compiler, *assembler* dan *linker*.

CCS memiliki kemampuan grafis dan mendukung *real-time debugging*. C compiler mengkompilasi sebuah program dalam bahasa C dengan ekstensi *.c, untuk menghasilkan file assembly menggunakan ekstensi *.asm. Assembler memproses file *.asm untuk menghasilkan file bahasa mesin dengan ekstensi *.obj. Kemudian linker menggabungkan

Simulink dengan CCS Studio yang nantinya akan berjalan di TMS320C6416.



Gambar 2.11 *Library Browser Simulink*

BAB 3

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan sistem komunikasi OFDM pada kanal bawah air yang masih duji di udara dengan menggunakan MATLAB Simulink yang diimplementasikan pada TMS320C6416. Pembahasan bab ini termasuk desain sistem OFDM pada Simulink dengan Subcarrier bervariasi : 16, 32, 64, 128, 256 sesuai dengan referensi yang telah dipelajari sebelumnya, serta pembahasan tentang metode pengukuran yang juga bervariasi.

3.1 Desain Sistem OFDM

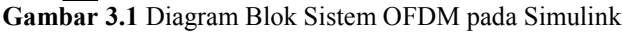
Perancangan sistem ini sebelumnya didasari pada [2] yang telah dimodifikasi untuk mendapatkan hasil sistem yang lebih baik. Sistem yang dimodifikasi ini akan dijelaskan pada subbab ini. Pada gambar 3.1 merupakan bagan konsep dari sistem OFDM yang akan didesain [2], konsep tersebut akan diaplikasikan pada semua subcarrier.

Secara garis besar, sistem ini terdiri dari pemancar dan penerima yang saling berhubungan dengan adanya beberapa kesamaan dalam komponen dan fungsinya. Pertama data acak dibangkitkan sesuai dengan subcarriernya. Pada subcarrier 16 dan 32 digunakan data acak bernouli sebanyak 20, subcarrier 64, 128, 256 sebanyak 96. Subcarrier 16 dan 32 berbeda dari yang lain karena penyusunan frame yang lebih kecil daripada yang lain. Untuk desain sistem dengan subcarrier 16, 32, 128, 25 tidak mengikuti standar manapun, sedangkan untuk subcarrier 64 mengikuti standar [6].

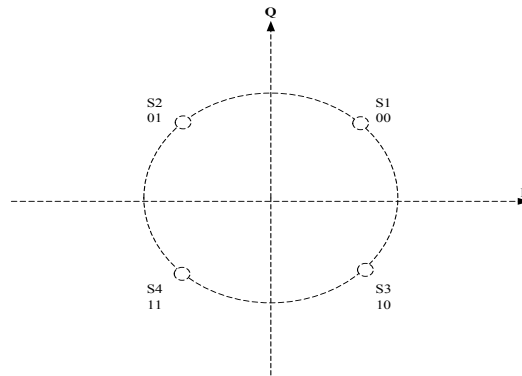
Proses selanjutnya adalah modulasi QPSK. Dalam modulasi ini setiap dua bit informasi di *mapping* menjadi satu simbol, *mapping* bit informasi menjadi simbol – simbol dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 *Mapping* Modulasi QPSK

Bit Info (left-msb)	Simbol	Nilai Simbol
00	S_1	$0.7071 + 0.7071j$
01	S_2	$-0.7071 + 0.7071j$
10	S_3	$0.7071 - 0.7071j$
11	S_4	$-0.7071 - 0.7071j$



Setelah proses *mapping* ini selesai, penempatan titik konstelasi dilakukan sesuai koordinat nilai symbol masing – masing, seperti yang terlihat pada gambar 3.2

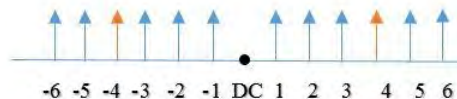


Gambar 3.2 Konstelasi QPSK

Untuk proses ini, semua subcarrier diperlakukan sama. Proses selanjutnya adalah penempatan pilot dan preamble serta penyusunan frame untuk OFDM. Preamble dimasukkan pada proses ini demi performansi sistem yang ideal. Pada proses ini tiap subcarrier berbeda dan akan dijelaskan pada subbab berikut.

3.1.1 Rangkaian OFDM Frame untuk 16 dan 32 Subcarrier

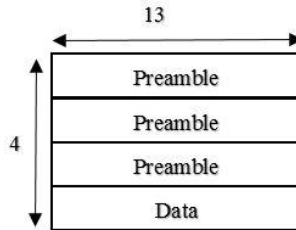
Untuk rangkaian frame pada subcarrier ini, pilot yang disisipkan ada 2, dengan zero DC berada ditengah. Subcarrier yang berisi ada 10. Model susunan frame yang terdiri dari pilot dan subcarrier ini bisa dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Model OFDM Frame Subcarrier 16 dan 32

Pengaturan pilot dan data pada OFDM frame adalah pilot pertama diselipkan diantara subcarrier 2 dan 3, pilot kedua disisipkan diantara subcarrier 3 dan 4. Frame ini nantinya akan

didahului dengan preamble yang panjangnya 13. Preamble ini terdiri dari angka 1 dan -1 serta ada 0 di tengahnya. Preamble ini diulang sebanyak tiga kali sehingga panjang preamble menjadi 39. Penambahan preamble ini bisa dilihat pada gambar 3.4, dimana preamble ini akan ditempatkan parallel dengan data.

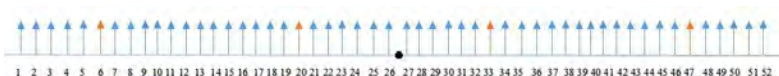


Gambar 3.4 Susunan data paralel subcarrier 16 dan 32

Dalam hal ini digunakan preamble yang banyak dan diulang sebanyak tiga kali karena sistem lebih cocok menggunakan teknik ini daripada menyelipkan secara acak preamblenya. Hal ini juga memudahkan dalam identifikasi preamble di penerima. Blok diagram sesungguhnya pada bagian ini bisa dilihat pada lampiran C.

3.1.2 Rangkaian OFDM Frame untuk 64, 128, 256 Subcarrier

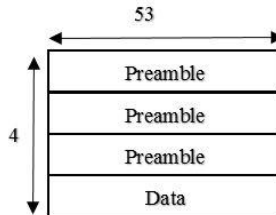
Untuk rangkaian frame pada Subcarrier ini menggunakan 4 pilot dengan zero DC yang berada di tengah [3]. Subcarrier yang berisi sebanyak 53. Model susunan frame yang terdiri dari pilot dan data bisa dilihat pada gambar 3.5, dimana preamble ini akan ditempatkan paralel dengan data.



Gambar 3.5 Model OFDM frame subcarrier 64, 128, 256

Pilot pertama disisipkan diantara 5 dan 7. Pilot kedua diantara 19 dan 21, pilot ketiga diantara 32 dan 35, pilot keempat

diantara 46 dan 48. Jumlah preamble pada subcarrier ini juga berbeda. Panjang satu preamble adalah 53 dan akan diulang sebanyak 3 kali dan diparalelkan dengan data seperti yang terlihat pada gambar 3.6



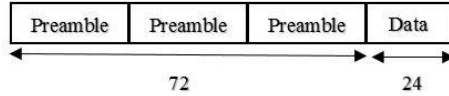
Gambar 3.6 Susunan data parallel subcarrier 64, 128, 256, 512

Sebab pengulangan preamble ini juga sama dengan subcarrier sebelumnya.

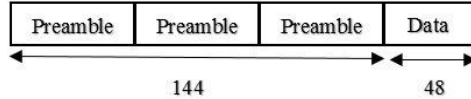
Proses selanjutnya adalah menambah digit 0 pada akhir frame sebanyak subcarrier yang diinginkan. Sehingga frame yang masuk ke IFFT sama dengan subcarrier yang dimaksud. Jika subcarriernya 16, maka tinggal ditambahkan digit 0 hingga ada 16×4 . Begitu juga untuk subcarrier yang lainnya.

Proses setelah IFFT adalah penambahan cyclic prefix sebanyak setengah dari total data yang parallel tersebut. Semua subcarrier diperlakukan sama sehingga subcarrier 16 mempunyai data 24×4 , subcarrier 32 mempunyai data 48×4 , subcarrier 64 mempunyai data 96×4 , subcarrier 128 mempunyai data 196×4 , subcarrier 256 mempunyai data 384×4 , subcarrier 512 mempunyai data 768×4 .

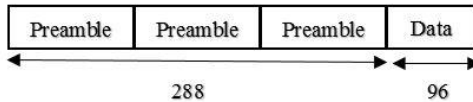
Setelah tadinya frame diubah ke paralel, maka sekarang frame masing – masing subcarrier akan di serial untuk nantinya akan dikirimkan. Panjang data ini tergantung dari banyaknya subcarrier yang disetel. Proses menjadi serial diurutkan dari preamble yang diulang sebanyak tiga kali, lalu yang terakhir adalah frame. Pada subcarrier 16 total ada 96×1 seperti pada gambar 3.7, subcarrier 32 ada 192×1 seperti pada gambar 3.8, subcarrier 64 ada 384×1 seperti pada gambar 3.9, subcarrier 128 ada 768×1 seperti pada gambar 3.10, subcarrier 256 ada 1536×1 seperti pada gambar 3.11.



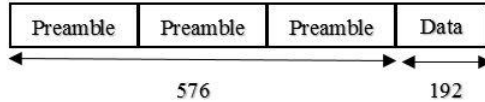
Gambar 3.7 Susunan data serial subcarrier 16



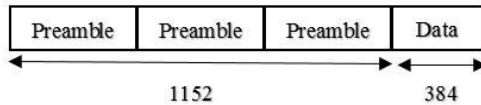
Gambar 3.8 Susunan data serial subcarrier 32



Gambar 3.9 Susunan data serial subcarrier 64

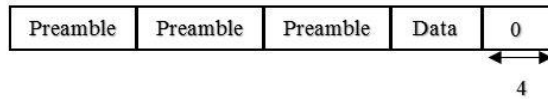


Gambar 3.10 Susunan data serial subcarrier 128



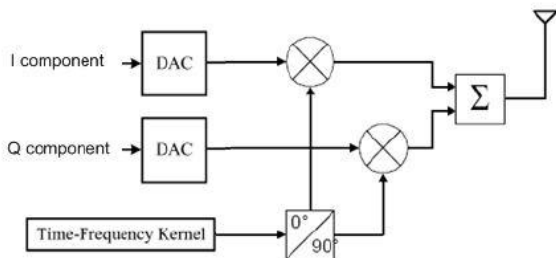
Gambar 3.11 Susunan data serial subcarrier 256

Supaya data siap dikirimkan, maka proses selanjutnya adalah data ini dilewatkan filter *raised cosine*. Filter yang akan digunakan adalah filter *root raised cosine*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan respon impuls yang lebih rapat daripada filter *raised cosine* biasa atau juga disebut sinyal *baseband*, serta filter ini juga berperan sebagai *upsampling* dimana hasil dari filter ini data akan dikalikan sebanyak *upsampling factor* yang dimaksud. *Setting* pada filter ini adalah *rolloff factor* dipilih 0.5, serta *upsampling factor* adalah 8 agar responnya terlihat. Pada hal ini, ditemukan bahwa terdapat *delay* yang ditimbulkan oleh filter ini. Maka dari itu, ditambahkan 0 pada akhir data sebanyak empat untuk nantinya akan diambil setelah filter *downsampling* sebanyak 4 di awal data. Susunan data yang ditambahkan 0 ini bisa dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Penempatan 0 sebelum filter

Karena TMS320C6416 hanya bisa membaca data yang real, maka ada cara tertentu untuk mendapatkan nilai real tersebut dengan memperhitungkan nilai imajinernya juga. Cara ini salah satunya adalah dengan modulator [6]. Modulator ini juga menghasilkan respon sinyal pada passband. Konsep modulator ini bisa dilihat pada gambar 3.13 dimana dibangkitkan suatu sinyal sinus dengan frekuensi modulasi dan waktu sample tertentu pada sistem dan dengan fase yang berbeda 90 derajat untuk komponen real dan imajinernya lalu dijadikan real semua dan ditambahkan lalu dipancarkan.



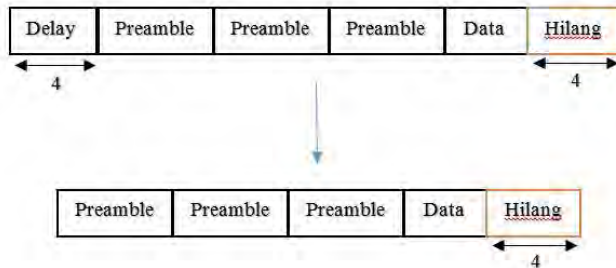
Gambar 3.13 Konsep Kerja Modulator[6]

Untuk penentuan frekuensi modulasi, waktu sample dan *sample per frame* pada modulator ini harus cermat karena jika salah, maka sistem akan berantakan dan BER tinggi. Untuk hal ini, frekuensi modulasi merupakan $\frac{1}{4}$ kali frekuensi sample yaitu 12000Hz karena frekuensi sample pada speaker yaitu 48000Hz. Waktu sample 0.01/banyaknya frame yang masuk pada modulator, hal ini disebabkan jika tidak satu frame yang masuk ke modulator, frame keluaran demodulator jauh berbeda dengan modulator. Maka dari itu dibutuhkan buffer sebelum modulator untuk mengatur berapa data yang masuk. Banyaknya frame yang masuk ditentukan oleh panjangnya data dalam satu pengiriman.

Kebalikanya yaitu demodulator yang konsep kerjanya sama dengan modulator. Demodulator ini mengembalikan nilai imajiner yang tadinya dijadikan real dan ditambah dengan nilai real sebenarnya pada

modulator. Namun sebelumnya data dilewatkan pada kanal akustik yakni dalam hal ini suara di udara yang dikeluarkan oleh *speaker* dan diterima oleh *microphone* yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut.

Selanjutnya sebelum memasuki filter *root raised cosine* untuk *downsampling* dan pengembalian ke *baseband*, maka diperlukan buffer untuk mengembalikan banyaknya data yang masuk ke dalam filter tersebut. Pada filter *downsampling* ini, spesifikasinya sama dengan filter *upsampling*. Setelah proses ini ditemukan bahwa terdapat delay pada 4 awal dan 4 akhir menghilang. Untuk mengatasi hal itu, sebelumnya sudah dijelaskan bahwa ada penambahan 0 sebelum masuk ke filter. Pada proses ini, 0 tersebut akan hilang dan digantikan dengan delay 4 yang berada di awal data seperti yang terlihat pada gambar 3.14. Delay ini nantinya akan dipotong dan data kembali seperti semula



Gambar 3.14 Blok diagram skema perbaikan delay

Setelah data kembali seperti semula, dilanjutkan dengan mengubahnya menjadi paralel seperti pada pengirim persis dengan proses pada gambar 3.6. Sebelumnya telah ditambahkan cyclic prefix sebagai perbaikan data jika ada yang terpotong. Dalam hal ini cyclic prefix dibuang sesuai subcarrier masing – masing.

Setelah dibuang, dilanjutkan ke proses FFT sesuai subcarrier masing – masing. Setelah FFT selesai, untuk mengembalikan nilai data seperti modulasi QPSK maka dibutuhkan prediksi data dari preamble. Sebelumnya 0 yang ditambahkan sebelum IFFT dan *preamble* yang ditambahkan setelah subcarrier bergabung dengan pilot akan dibuang pada proses ini. Input dari prediksi data ini adalah satu frame preamble yang diterima (u) dan satu frame preamble yang semula dikirim (v) dengan persamaan:

$$y = \frac{\bar{x}^{T*}}{|\bar{x}^T|^2} \quad (3.1)$$

Dimana,

$$x = \frac{u}{v} \quad (3.2)$$

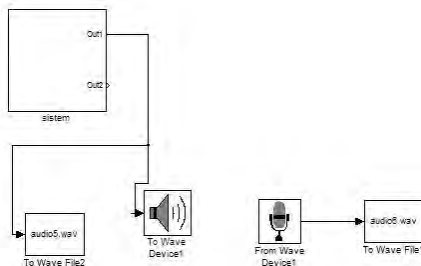
Blok diagram realisasi prediksi ini bisa dilihat pada lampiran C. Paralel menjadi serial juga akan terjadi dalam proses ini. Setelah proses deteksi ini, proses selanjutnya adalah pengambilan pilot. Frame yang telah menjadi serial ini akan diambil pilotnya dan akan didemodulasi QPSK kembali.

3.2 Skenario Pengukuran

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa tugas akhir ini diuji coba dalam kanal akustik dalam hal ini adalah speaker dan microphone di udara. Untuk mengukur BER dan menganalisa sistem, maka dibuatlah skenario pengukuran untuk simulasi dengan kanal akustik, dan implementasi dengan TMS320C6416 di pengirim.

3.2.1 Simulasi pada MATLAB Simulink

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa diantara modulator dan demodulator terdapat kanal bawah air. Dalam hal ini setelah modulator, data akan diubah menjadi suara yang nantinya dipancarkan oleh speaker, serta data ini akan disimpan dalam suatu audio *file*. Lalu akan direkam menggunakan *microphone* yang hasilnya akan direkam dalam suatu *file* audio juga. Implementasi program ini bisa dilihat pada gambar 3.15



Gambar 3.15 Program untuk simulasi Simulink

Program sistem pada gambar 3.15 bisa dilihat selengkapnya pada lampiran C gambar 5.1 dimana program untuk simulasi dilampirkan.

Dalam audio *file* dari pengirim dan penerima bisa diidentifikasi dimana data yang paling mirip berada dengan melihat fungsi stem dari masing – masing audio file. Setelah diidentifikasi bagian mana yang paling mirip dengan yang dikirim, bagian tersebut dipotong dan akan diolah di penerima. Program untuk mengolah file yang telah dipotong tersebut ada di lampiran C pada gambar 5.5 dimana penerima secara umum dilampirkan.

Untuk jarak antara *microphone* dan speaker, penentuan dilakukan dengan membangkitkan sinyal sinus dengan frekuensi 1200 Hz agar gelombang bisa terbaca dengan baik. Jarak dimana yang diterima mirip dengan yang dikirim, itulah jarak pengukuran dengan menyesuaikan juga volume speaker, voume microphone dan *microphone boost* nya. Berikut merupakan spesifikasi speaker dan microphone pada komputer :

Tabel 3.2 Ketentuan perangkat keras untuk simulasi

Volume Speaker	51%
Volume Microphone	40%
Microphone boost	0%

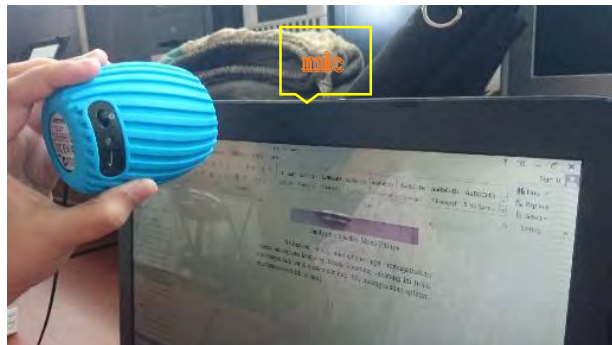
Penentuan frekuensi perangkat keras juga diperlukan untuk memudahkan normalisasi. Maka frekuensi perangkat keras yang dipilih adalah 16 bit 48000 Hz yang merupakan bilangan genap yang bisa dibagi dua seperti subcarrier dan merupakan setengah dari total frekuensi kerja TMS320C6416 yaitu 96000 Hz [4].

Jarak yang hasil diterimanya mirip dengan dikirim adalah 0,5 cm dan 4 cm. speaker yang digunakan adalah Philips *Sound Shooter*. Speaker mono dengan tegangan 2 Watt yang bekerja pada frekuensi 100 Hz – 18 KHz ini bisa dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Speaker Mono Philips

Sedangkan untuk *microphone* nya menggunakan internal microphone komputer, karena komputer sekarang ini tidak mempunyai *jack* untuk speaker dan mic. Jika menggunakan splitter, microphone nya tidak terbaca. Cara pengambilan suara bisa dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 pengambilan audio

Langkah – langkah pengujian untuk simulasi sebagai berikut :

1. Setel speaker pada computer untuk memancarkan suara
2. Siapkan program seperti pada lampiran C gambar 5.4

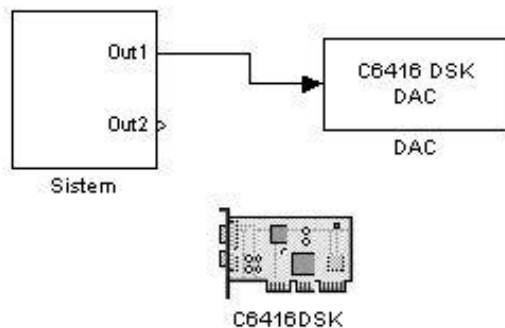
3. Speaker ditempatkan seperti pada gambar 3.17
4. Jalankan program dengan durasi 4 detik
5. Hasil rekaman suara disimpan dan diolah pada program penerima yang bisa dilihat pada lampiran C gambar 5.5

Parameter yang diharapkan dari skenario ini adalah munculnya nilai Bit Error Rate yang rendah.

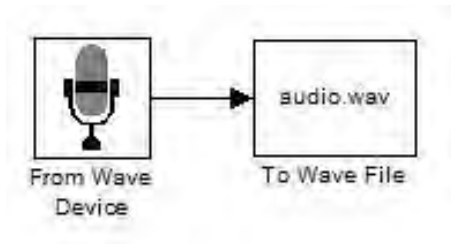
3.2.2 Implementasi pada TMS320C6416

Untuk spesifikasi perangkat keras yaitu tingkat volume dan speaker serta microphone yang dipakai sama dengan simulasi pada MATLAB Simulink. Perbedaannya adalah program yang akan diimplementasikan dan penempatan perangkat.

Untuk implemntasi di TMS320C6416 menggunakan dua program. Program yang pertama berfungsi untuk mengeluarkan suara sistem dan program ini akan diimplemenasikan di TMS320C6416, program yang kedua berfungsi untuk menangkap suara dari sistem tersebut dan program ini berada di Simulink, tidak diimplementasikan. Untuk program yang mengeluarkan suara sistem bisa dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3.18 Implementasi pada TMS320C6416



Gambar 3.19 Program untuk menangkap suara implementasi

Program pada gambar 3.18 mempunyai durasi yang lebih sedikit daripada program pada gambar 3.19. hal ini bertujuan untuk mendapatkan data mana yang baik dan akan dipotong karena dua program ini terpisah dan menangkap data dengan waktu yang berbeda.

Langkah – langkah pengujian pada implementasi menggunakan TMS320C6416 sebagai berikut :

1. Pasang TMS320C6416 pada komputer pengguna dengan cara sambungkan kabel USB TMS pada komputer seperti pada gambar 3.20
2. Operasikan TMS320C6416 seperti pada lampiran A
3. Sambungkan speaker ke headphone TMS320C6416 seperti pada gambar 3.20
4. Tentukan jarak speaker dan microphone terlebih dahulu.
5. Jalankan program gambar 3.19 dengan durasi 8 detik.
6. Jalankan program gambar 3.18 pada TMS320C6416 dengan cara klik *incremental build* pada Simulink
7. Hasil rekaman suara akan diolah pada program lampiran C gambar 5.5

Untuk integrasi DAC dan TMS320C6416 terdapat pada lampiran B. Penentuan jarak juga sama dengan Simulasi. Speaker akan dihubungkan dengan *Headphone* TMS320C6416

dan akan mengeluarkan suara yang nantinya ditangkap oleh internal *microphone*.



Gambar 3.20 Implementasi pada TMS320C6416

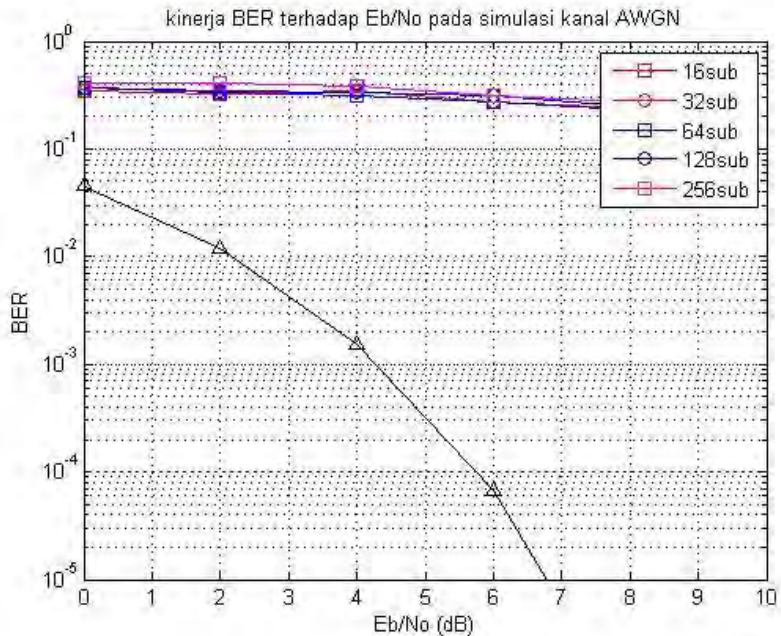
BAB 4

PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISIS SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa sistem pada berbagai kondisi : Simulasi dan Implementasi. Namun, data yang bisa dianalisa hanya di pengirim. Hal ini disebabkan karena BER yang terlalu tinggi serta normalisasi yang tidak berjalan lancar sehingga sistem penerima tidak bisa dianalisa.

4.1 Analisa Sistem OFDM pada Simulasi

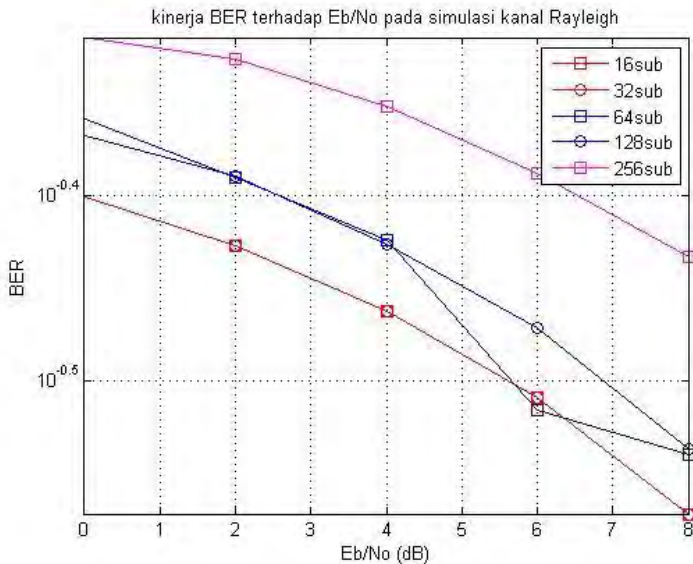
Analisa terlebih dahulu menggunakan Simulasi dengan kanal AWGN dan Rayleigh untuk melihat performansi sistem yang dibuat. Parameter yang dilihat pada simulasi ini adalah nilai BER terhadap E_b/N_0 dengan subcarrier yang berbeda.



Gambar 4.1 Kinerja BER terhadap E_b/N_0 pada kanal AWGN di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.1 bahwa hasil sistem yang dibuat mempunyai nilai BER lebih besar daripada teori dimana teori digambarkan pada kurva berwarna hitam. Hal ini disebabkan karena belum adanya teknik deteksi data yang lebih baik seperti estimasi kanal dan sinkronisasi fasa dan carrier agar data yang diterima menyerupai data yang dikirim.

Kanal bawah air bisa dimodelkan dengan kanal Rayleigh karena karakteristik multipath yang hampir sama. Pada gambar 4.2 bisa dilihat nilai BER pada subcarrier tertentu di kanal Rayleigh.



Gambar 4.2 Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal Rayleigh di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.2 bahwa BER pada kanal Rayleigh lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN. Hal ini membuat kinerja sistem yang dibuat belum baik sehingga belum bisa mengatasi *fading*. Kinerja pada masing – masing subcarrier juga belum baik, hal ini

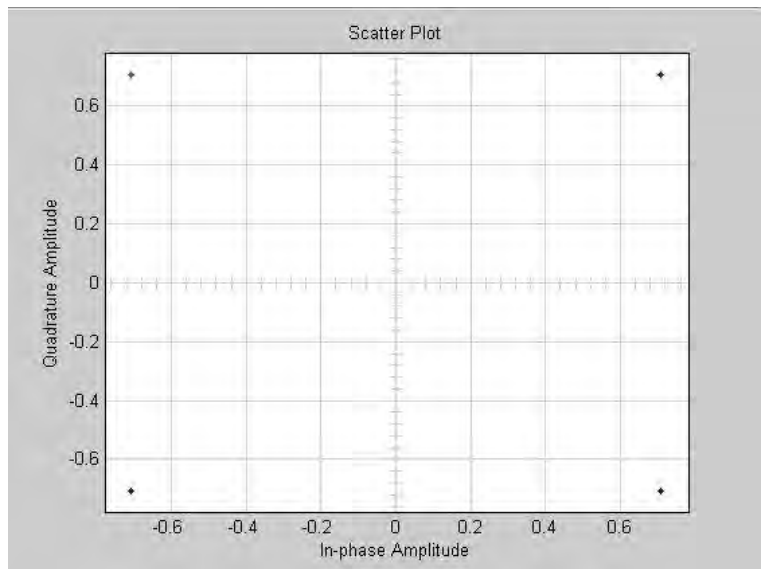
dibuktikan dengan makin banyaknya subcarrier maka tidak makin banyak BER yang tercatat.

4.2 Analisa Sistem OFDM pada Kanal Bawah Air dengan Simulink

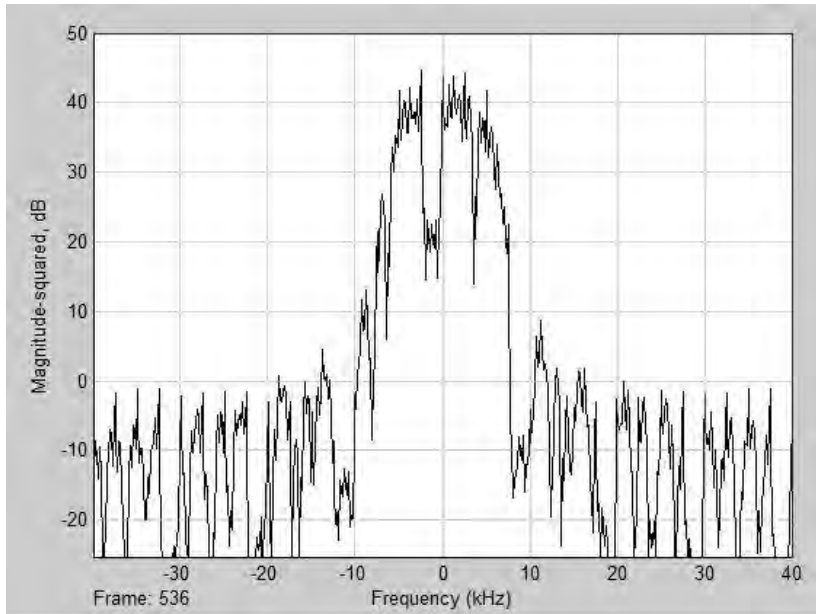
Analisa sistem dilakukan dengan melihat spektrum dari sinyal *Baseband* dan *Bandpass*, serta melihat konstelasinya dan BER nya meskipun BER sangat tinggi. Analisa ini diambil pada saat simulasi dan implementasi. Hasil gambar pengirim pada simulasi dan implementasi sama, sehingga yang ditampilkan hanyalah hasil simulasi.

4.2.1 16 Subcarrier

Pada subcarrier 16, dilihat konstelasi pengirim yaitu sesudah modulasi QPSK. Pada gambar 4.1 ada empat titik pada kuadran satu, dua, tiga dan empat yang masing – masing bernilai 0.7071 yang sesuai dengan penjelasan pada bab 3 awal yaitu modulasi QPSK.



Gambar 4.3 Konstelasi Sistem Subcarrier 16 pengirim

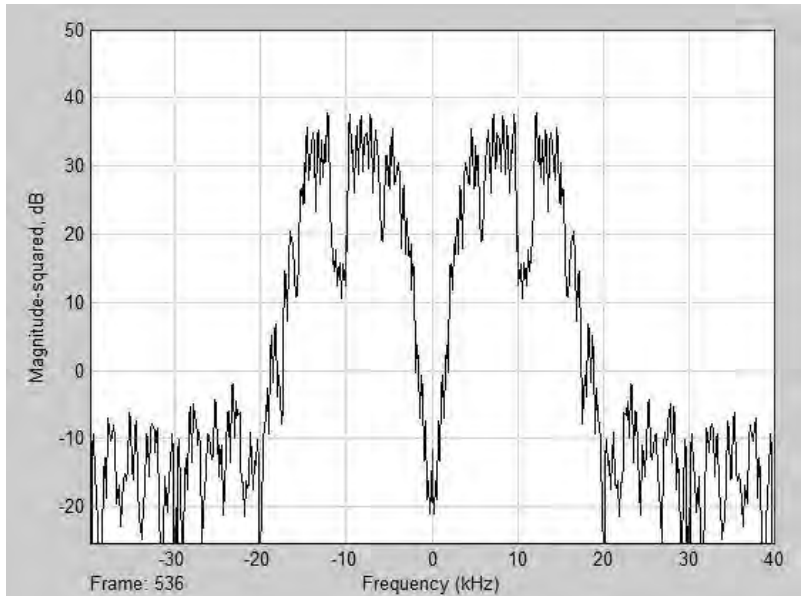


Gambar 4.4 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 16 Pengirim

Perhitunganya dilakukan dengan cara membagi durasi waktu tersebut yaitu 10 ms menjadi 10 KHz. Maka *bandwidth* per subcarriernya adalah 10 KHz. Dari gambar 4.2 bisa dihitung bandwidth total sistem. Yaitu dengan mengalikan total subcarrier dengan bandwidth per subcarriernya. Maka hasilnya adalah 160 KHz. Bandwidth ini masih ada di dalam jangkauan komunikasi bawah air.

Selanjutnya akan dianalisa sinyal bandpass pengirim yaitu sinyal sesudah modulator. Spectrum frekuensi hasil modulator memperlihatkan pola bandpass dari sistem seperti pada gambar 4.3

Respon impuls yang didapatkan seperti pada gambar 4.2 dimana nilai puncak bukan nilai maksimum disebabkan oleh filter yang digunakan. Jika menggunakan Low Pass Filter hasilnya lebih halus namun data menjadi acak.



Gambar 4.5 Spektrum Frekuensi Bandpass Subcarrier 16 Pengirim

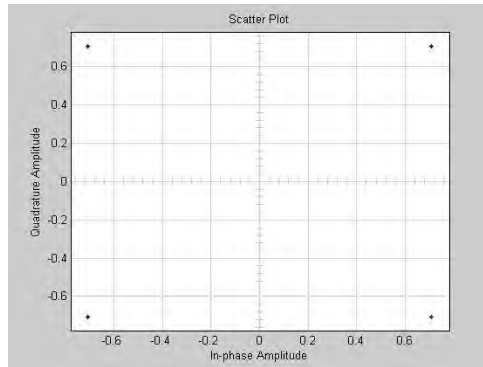
Pada gambar 4.3, sinyal bergeser sebanyak 10 KHz dalam jarak frekuensi yang sama dengan sinyal *baseband* seperti pada gambar 4.3. Sinyal ini yang nantinya akan dilewatkan ke kanal bawah air yang telah dijelaskan pada subab 3.2.

Selanjutnya BER untuk jarak 0,5 cm adalah 0.511, sedangkan untuk jarak 4 cm adalah 0.511 juga sama dengan jarak 0,5 cm.

4.2.2 32 Subcarrier

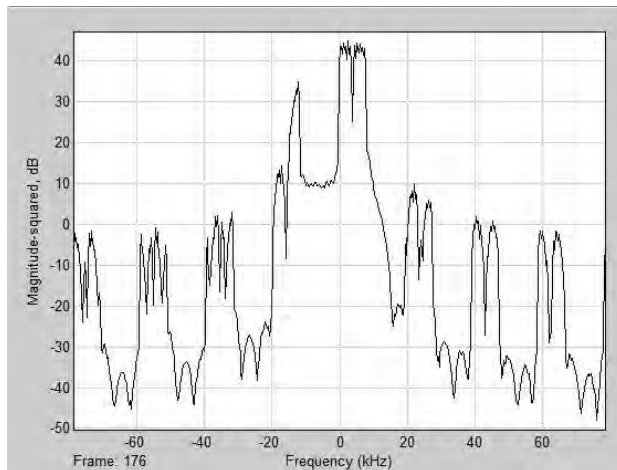
Pada subcarrier 32, dilihat konstelasi sesudah modulasi QPSK seperti halnya pada subcarrier 16. Bisa dilihat pada gambar 4.4 yang merupakan konstelasi subcarrier 32 dan sesuai dengan konsep yang telah dijelaskan pada bab 3.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

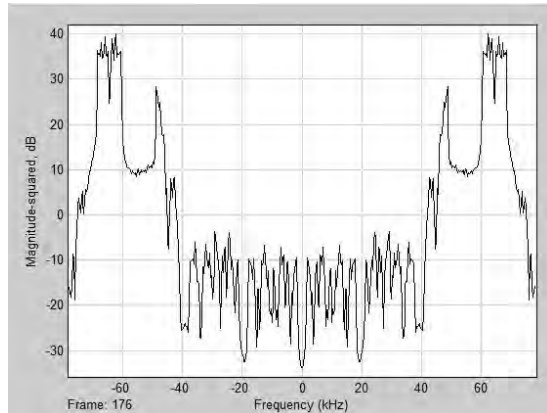


Gambar 4.6 Konstelasi Sistem Subcarrier 32 pengirim

Untuk subcarrier 32 ini, dianalisa spektrum frekuensi sesudah sinyal memasuki filter *root raised cosine*. Berbeda dengan subcarrier 16, spektrum frekuensi subcarrier 32 yang bisa dilihat pada gambar 4.5 mempunyai bandwidth subcarrier yang lebih besar.



Gambar 4.7 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 32 Pengirim



Gambar 4.8 Spektrum Frekuensi Passband Subcarrier 32

Dari gambar 4.5 bisa dihitung bandwidth per subcarrier-nya. Bandwidth per subcarrier diketahui 20 KHz dan banyaknya subcarrier adalah 32. Maka bandwidth total adalah 640 KHz. Selanjutnya akan dianalisa sinyal passband dari subcarrier 32 yang bisa dilihat pada gambar 4.6

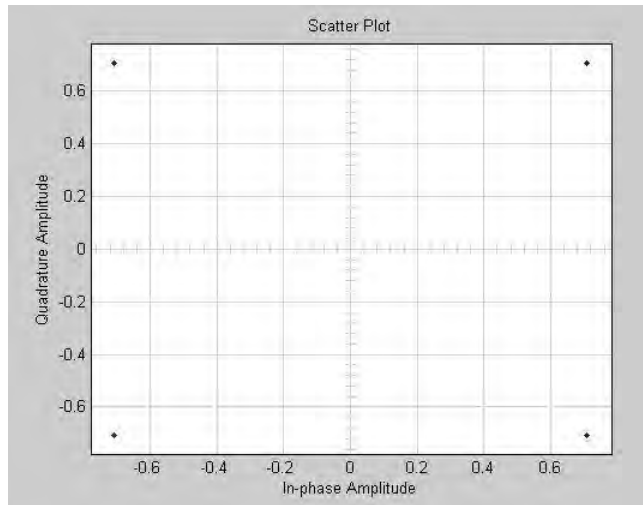
Dari gambar 4.6 bisa dilihat bahwa spektrum bergeser sebanyak 40 KHz dengan besarnya gelombang sama dengan spektrum frekuensi baseband. Sinyal passband ini nantinya akan dilewatkan pada kanal bawah air.

BER pada subcarrier 32 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0,5057 sedangkan untuk jarak 4 cm adalah sama yaitu 0,5057.

4.2.3 64 Subcarrier

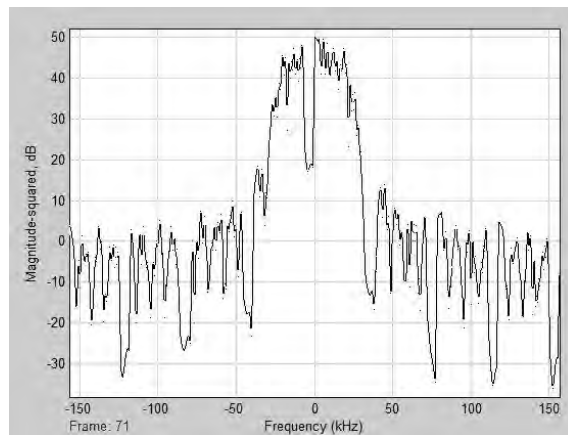
Pada subcarrier 64 ini dianalisa dahulu konstelasi setelah modulasi QPSK yang bisa dilihat pada gambar 4.7 yang sesuai dengan konsep pada bab 3 sebelumnya.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini. Sinyal pada implementasi juga sama dengan simulasi, hal ini disebabkan karena tempat menjalankannya yang sama yaitu Simulink.

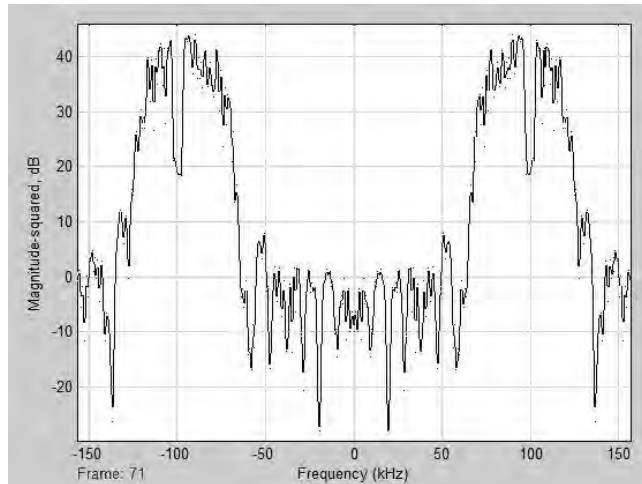


Gambar 4.9 Konstelasi sistem subcarrier 64 pengirim

Selanjutnya akan dianalisa spektrum frekuensi baseband dari subcarrier 64 ini. Hasil baseband ini diperoleh dari sinyal hasil filter *root raised cosine*. Spektrum frekuensi ini bisa dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.10 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 64



Gambar 4.11 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 64

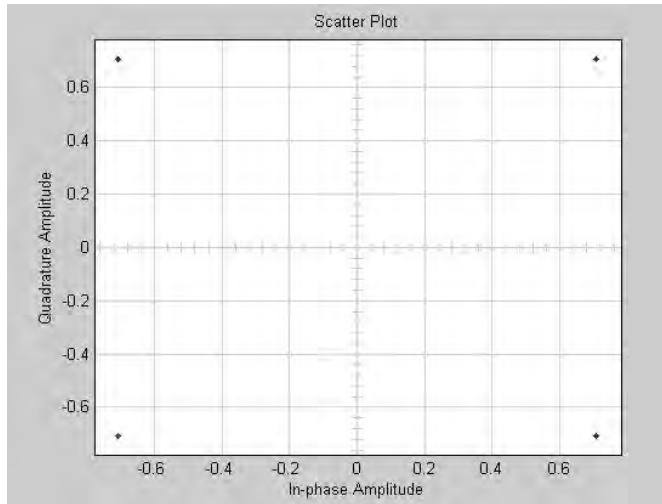
Setelah sinyal baseband ini, dianalisa sinyal passband pada domain frekuensi dimana diperoleh dari sinyal yang dilewatkan modulator seperti pada gambar 4.9. Sebelum itu, dari gambar 4.8 bisa dihitung bandwidth total subcarrier 64. Dimana bandwidth per subcarriernya adalah 50 KHz, maka bandwidth total adalah 3200 KHz.

Spektrum frekuensi bandpass ini bergeser sebanyak 50 KHz dengan bandwidth per subcarrier sama dengan baseband. Dihitung juga BER dari sistem subcarrier 64 ini. Untuk jarak 0,5 cm BER nya adalah 0.5004 sedangkan untuk jarak 4 cm juga sama yaitu 0.5004.

4.2.4 128 Subcarrier

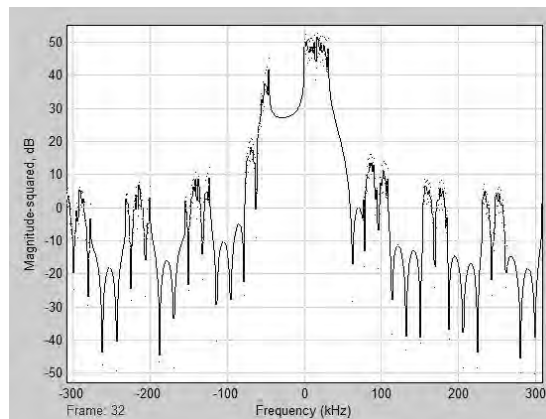
Untuk subcarrier 128 ini, dianalisa konstelasi pengirim setelah modulasi QPSK. Konstelasi ini bisa dilihat pada gambar 4.10 dan sesuai dengan konsep pada bab 3 yang telah dijelaskan sebelumnya.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

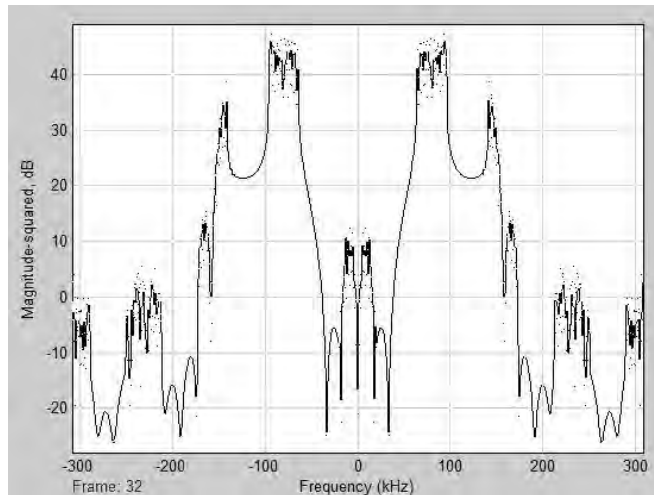


Gambar 4.12 Konstelasi sistem subcarrier 128 pengirim

Setelah analisa konstelasi, dilanjutkan analisa sinyal baseband pada domain frekuensi yang diperoleh dari sinyal sesudah memasuki filter root raised cosine yang bisa dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.13 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 128 pengirim



Gambar 4.14 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 128 pengirim

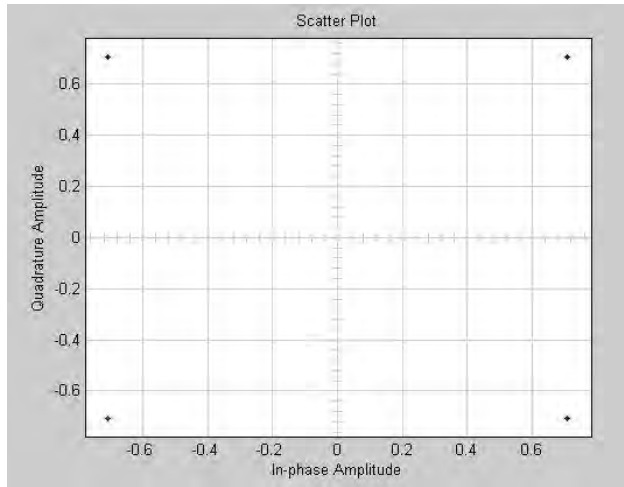
Dari gambar 4.11 bisa didapatkan bandwidth per subcarriernya yaitu 70 KHz. Dari bandwidth per subcarrier ini juga bisa dihitung bandwidth totalnya, yaitu 8960 KHz. Sedangkan untuk spektrum bandpassnya bisa dilihat pada gambar 4.12

Bisa dilihat pada gambar 4.12 bahwa sinyal bergeser sedikit dengan frekuensi tengah 100 KHz dengan bandwidth per subcarriernya sama dengan baseband. Untuk BER pada subcarrier 128 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0.5007 sedangkan untuk jarak 4 cm adalah 0.5005

4.2.5 256 Subcarrier

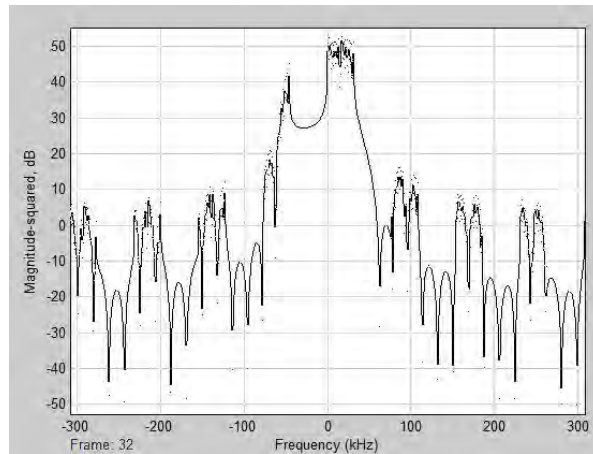
Pada subcarrier 256 ini, dilihat dan dianalisa konstelasi setelah sinyal masuk ke modulasi QPSK. Kosntelasi ini sesuai dengan yang dijelaskan pada bab 3 sebelumnya dan konstelasi ini bisa dilihat pada gambar 4.13

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

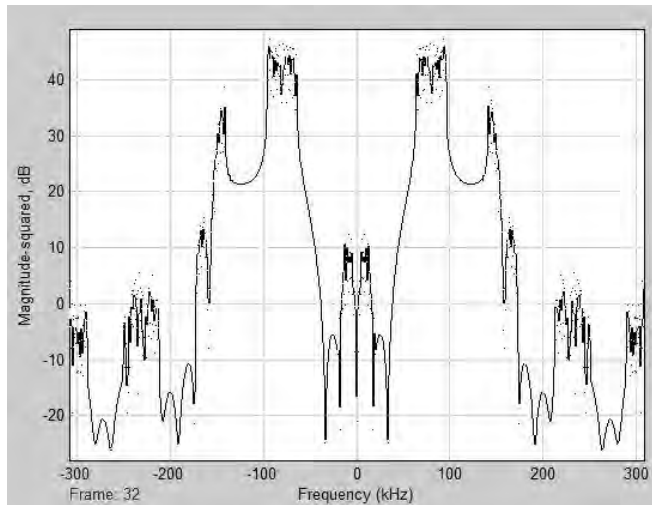


Gambar 4.15 Kosntelasi sistem subcarrier 256 pengirim

Setelah konstelasi dianalisa, selanjutnya akan dilihat sinyal baseband setelah filter root raised cosine. Sinyal ini dianalisa dalam domain frekuensi yang bisa dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.16 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 256 pengirim



Gambar 4.17 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 256

Terlihat pada gambar 4.14 bahwa bandwidth per subcarriernya sama dengan subcarrier 128, yaitu 70 KHz. Namun mempunyai bandwidth total yang berbeda yaitu 17920 KHz. Untuk spektrum frekuensi bandpass bisa dilihat pada gambar 4.15

Hampir sama dengan sinyal baseband sebelumnya bahwa pada sinyal bandpass 256 ini sama dengan subcarrier 128. Sinyal bandpass bergeser dimana frekuensi tengahnya menjadi 100 KHz. Untuk BER subcarrier 256 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0.5028 sedangkan untuk 4 cm adalah 0.5115.

4.3 Analisa Sistem OFDM pada TMS320C6416

Analisa ini dilakukan sesuai dengan skenario pengukuran yang telah dijelaskan pada sub bab 3.2.2 sebelumnya. Dalam hal ini yang dianalisa hanyalah pengirim karena BER yang sangat tinggi tidak memungkinkan untuk analisa penerima.

Hal ini disebabkan karena sinyal penerima tidak mempunyai pola yang sama dengan sinyal yang dikirim, sehingga jika dilihat dari tiap titik, probabilitas besar BER dapat dilihat pada tabel 4.1

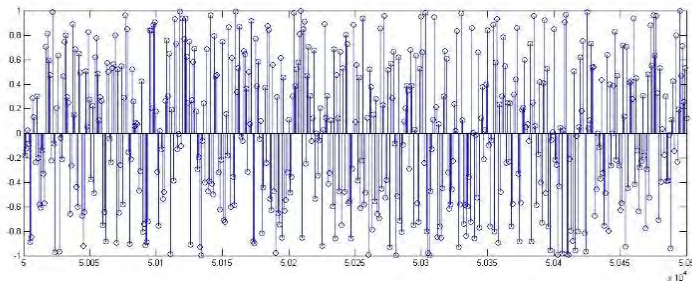
Tabel 4.1 Bit Error Rate masing – masing subcarrier pada implementasi

Subcarrier	0,5 cm	4cm
16	0,5078	0,5148
32	0,5065	0,5065
64	0,4988	0,5005
128	0,5105	0,5008
256	0,5028	0,5048

Penyebab BER yang besar ini masih belum dapat diketahui lebih jelas sehingga perlu diteiti lebih lanjut.

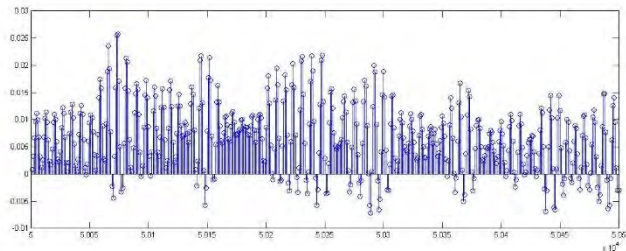
4.4 Analisa Kanal Bawah Air

Masalah yang belum terselesaikan adalah bagaimana cara menyesuaikan phase dan mencari titik saturasi yang benar pada kanal bawah air. Selama pengukuran ini yang terjadi adalah hasil yang diterima microphone sama sekali tidak sama dengan yang dipancarkan speaker. Contoh sinyal yang dikirim bisa dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.18 Sinyal yang dipancarkan speaker

Bila pada sinyal penerima diambil pada jarak matrix yang sama, maka amplitudo dan fase juga berbeda jauh. Bahkan, sebagian besar tidak terekam dengan baik atau disaturasikan oleh microphone tersebut. Sinyal pada penerima bisa dilihat pada gambar 4.17.

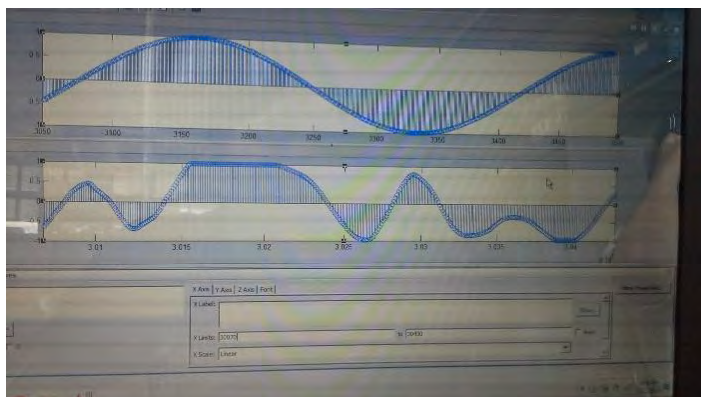


Gambar 4.19 Sinyal yang diterima speaker pada simulasi Simulink MATLAB

Untuk mengatasi hal ini, pertama yang dilakukan adalah membangkitkan sinyal sinus biasa pada Simulink dan menormalisasikan sinyal agar hasil hampir sesuai dengan yang dikirim. Perbandingan sinyal sinus yang dikirim dengan yang diterima bisa dilihat pada gambar 4.18

Gambar 4.18 merupakan gambar yang paling mendekati dari semua sinyal sinus yang dibangkitkan. Dari sini dicoba untuk menganalisis suatu sinyal lain yang mengakibatkan terdistorsi seperti gambar dengan analisis matematis.

Namun, analisis ini tidak berhasil karena titik – titik yang ditemukan merupakan sebagian kecil dari sinyal terdistorsi tersebut yang tidak menggambarkan keseluruhan sinyal.



Gambar 4.20 perbandingan sinyal sinus yang dikirim dan diterima

Selanjutnya adalah melakukan perubahan pada frekuensi modulasi sistem untuk menyesuaikan frekuensi keluaran dari speaker yaitu minimum 44100 Hz. Dengan 16 sample dari 44100 Hz, maka ditentukan frekuensi carriernya adalah 2756,25 Hz dengan waktu sample $1/44100$ Hz. Sinyal ini dibangkitkan dengan menggunakan Simulink MATLAB. Namun hal ini jika diimplementasikan pada sistem ideal tidak cocok dan mengakibatkan BER yang masih tinggi.

Usaha terakhir adalah dengan mengubah sistem secara keseluruhan, mulai dari penempatan nol, hingga penempatan preamble. Pemilihan frekuensi juga berbeda dengan yang sebelumnya. Untuk subcarrier 64, dipilih frekuensi carrier 6000 Hz yang berasal dari 48000 Hz dibagi 8 sample. Setelah itu diusahakan frekuensi dari OFDM sesuai dengan frekuensi carrier tersebut. Akhirnya ditentukan bahwa waktu sample terbaik untuk mendekati frekuensi carrier adalah $1/60000$.

Namun hal ini tidak berhasil karena ketika sistem tersebut diuji coba menggunakan speaker dan microphone, suaranya tidak keluar. Walaupun menaikkan amplitudo sistem hingga 100 kali tetap tidak mengeluarkan suara.

BAB 5

PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang proses, hasil pengujian dan cara pengukuran telah dibuat. Saran pada bab ini juga diperlukan demi kelancaran penelitian sistem komunikasi bawah air selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Proses penghitungan dan penentuan frekuensi pada Modulator dan Demodulator sangat penting dalam perancangan sistem hal ini berpengaruh pada nilai data yang masuk dengan yang keluar tidak sama karena tidak satu gelombang
2. Sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik karena belum adanya sinkronisasi antar frame serta estimasi kanal.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik adalah :

1. Proses normalisasi harus dilakukan lebih dalam lagi agar sistem yang dibuat bekerja dengan baik.
2. Menggunakan perangkat lunak terbaru untuk mengidentifikasi karakter dari TMS320C6416 supaya *library* yang baru bisa teridentifikasi dan mempermudah penelitian.
3. Adanya standar yang lebih tepat untuk komunikasi bawah air agar hasilnya pun lebih tepat

LAMPIRAN

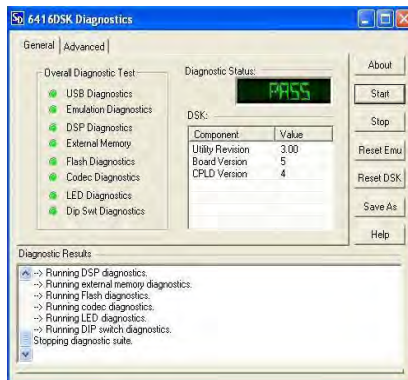
A. Instalasi dan Deteksi Perangkat Lunak

Setelah TMS320C6416 sudah dipasang di komputer, buka *software 6416DSK Diagnostic Utility v3.1* seperti pada gambar 3.1. Tampilan pada perangkat lunak tersebut mula – mula adalah IDLE. Dari sinilah pilih start untuk memulai pengecekan alat.



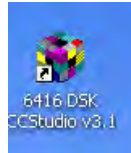
Gambar 3.1 *Shortcut 6416DSK Diagnostic Utility v3.1*

Proses pengecekan selesai bila mode IDLE berubah menjadi PASS seperti pada gambar 3.2 dan lampu LED di sebelah kiri semua berwarna hijau. Jika FAIL dan lampu LED berwarna merah, maka harus mengulang dari awal yaitu pilih *start*. Pastikan koneksi USB dari TMS320C6416 ke komputer telah benar, serta pastikan tidak ada program yang ada di dalam alat tersebut. Ini mempengaruhi pengecekan perangkat lunak.



Gambar 3.2 Tampilan PASS 6416DSK *Diagnostic Utility v3.1*

Selanjutnya buka CCS Studio v3.1 seperti pada gambar 3.3, lalu pilih *debug* → *connect* untuk mengkoneksikan alat dengan komputer.



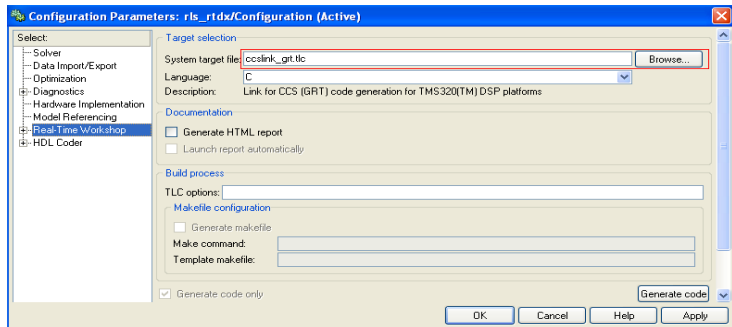
Gambar 3.3 6416 DSK CCS Studio v3.1

Setelah alat terkoneksi dengan komputer yang ditandai dengan adanya HALTED di kiri bawah CCS Studio v3.1, maka telah selesai proses instalasi dan deteksi perangkat. Jika belum HALTED, maka proses bisa diulang kembali atau mengulang dari DSK Utility.

B. Integrasi MATLAB Simulink dengan CCS v3.1

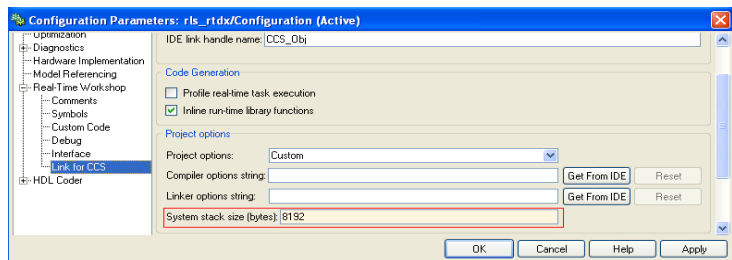
Langkah berikutnya, Mengintegrasikan Simulink dengan CCS v3.1 sehingga nantinya blok sistem yang sudah dibuat di Simulink dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. Pada Tugas Akhir ini digunakan Matlab versi R2007a karena *software* CCS v3.1 hanya dapat terintegrasi dengan Matlab versi R2007a kebawah. Untuk dapat *build* sistem ke dalam *DSK board* diperlukan beberapa pengaturan konfigurasi yang dapat diakses pada menu *Simulation* kemudian dipilih *Configuration Parameter*. Beberapa parameter yang harus diatur sebagai berikut :

1. Pada bagian *Real Time Workshop*, *System target file* pada *Target selection* diubah menjadi *ccslink_grt.tlc*. Hal ini bertujuan untuk menghubungkan antara Simulink dengan CCS.



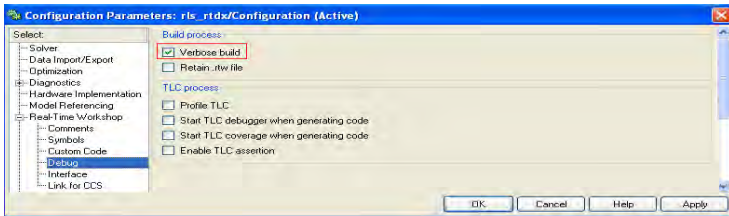
Gambar 3.7 Pengaturan *system target file*

2. Untuk bagian *Link for CCS*, untuk bagian *Project options*, ubah *system stack size* menjadi 8192 bytes. Nilai ini disesuaikan dengan maksimum *stack size* pada DSK board.



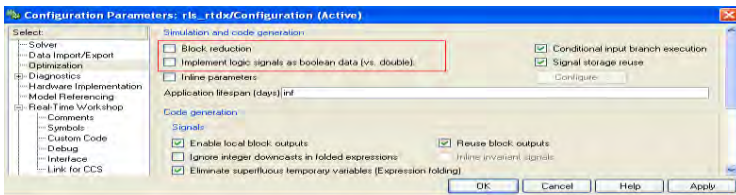
Gambar 3.8 Pengaturan sistem *stack size*

3. Bagian *Debug*, tandai pilihan *Verbose Build Mode* untuk menampilkan proses pembentukan kode-kode dari *file* Simulink untuk memprogram DSK yang ditampilkan pada *Matlab Command Windows* seperti pada Gambar 3.9.



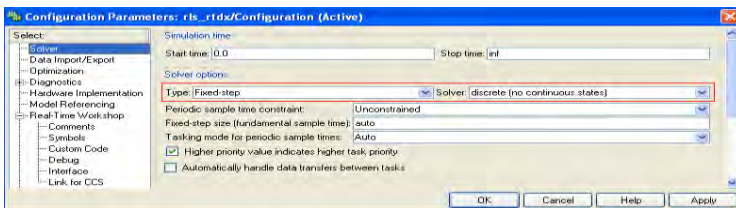
Gambar 3.9 Pengaturan *build process*

4. Bagian *Optimization*, pada *Simulation and code generation*, tanda centang pada *block reduction* dan *implement logic signal as boolean data* dihilangkan. Tujuannya agar Simulink tidak menterjemahkan blok-blok yang tidak terpakai untuk diubah dalam bahasa C. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pengaturan *simulation and code generation*

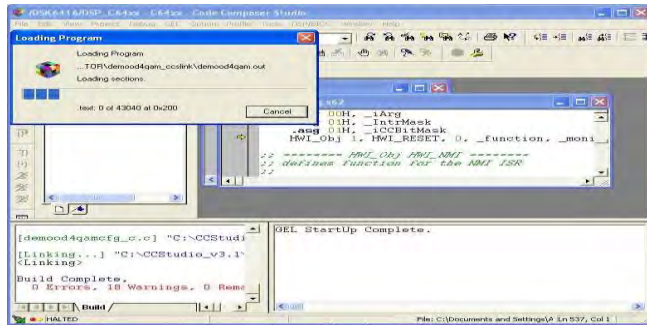
5. Pada bagian *Solver*, pilih *Type: Fixed-step* dan *Solver: discrete (no continuous states)* agar sistem bekerja secara diskrit.



Gambar 3.11 Pengaturan *solver options*

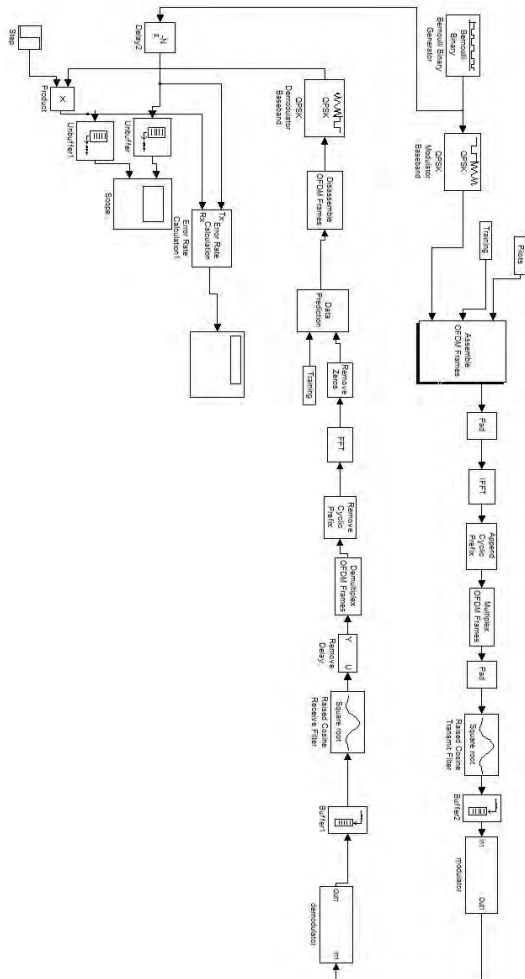
Selanjutnya, Untuk mengimplementasikan sistem yang sudah dibuat di simulink ke dalam DSK TMS320C6416T, klik *toolbar*

“incremental build” pada simulink. Jika tidak terjadi *error*, secara otomatis simulink akan membangkitkan kode-kode program dan terhubung ke *Code Composer Studio v3.1* untuk mengubah *file* simulink menjadi *file project CCS (*.pjt)* yang dimuat ke dalam DSK TMS320C6416T. Proses tersebut dapat dilihat pada CCS dengan tampilan seperti gambar dibawah ini.

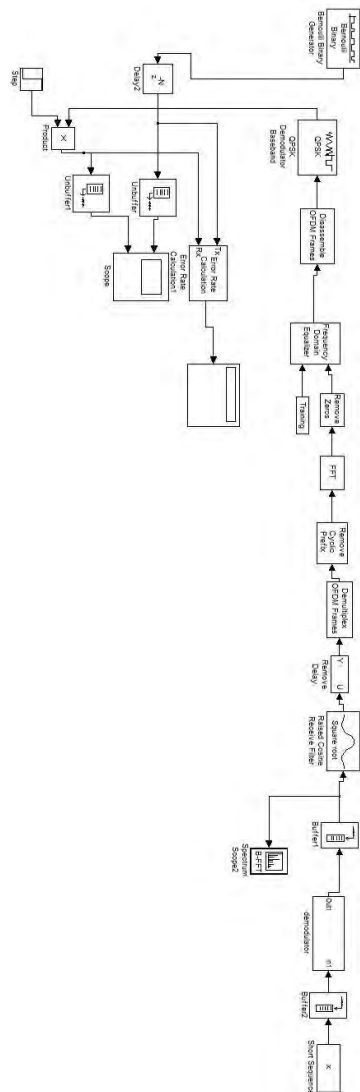


Gambar 3.12 Proses *building system* ke dalam DSK

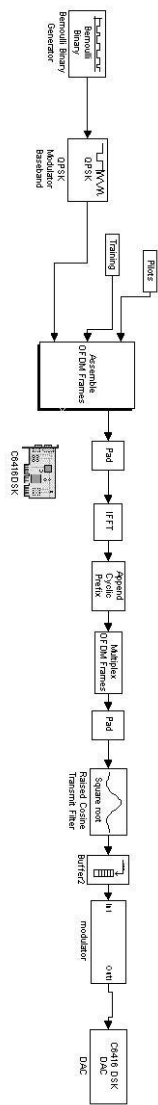
5.3 Blok diagram sistem secara umum



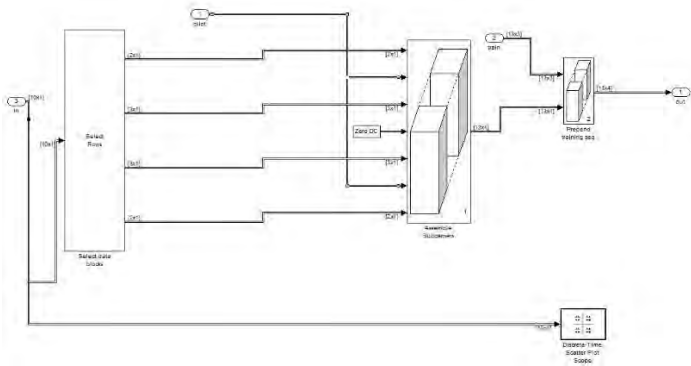
5.5 Blok diagram sistem penerima simulasi



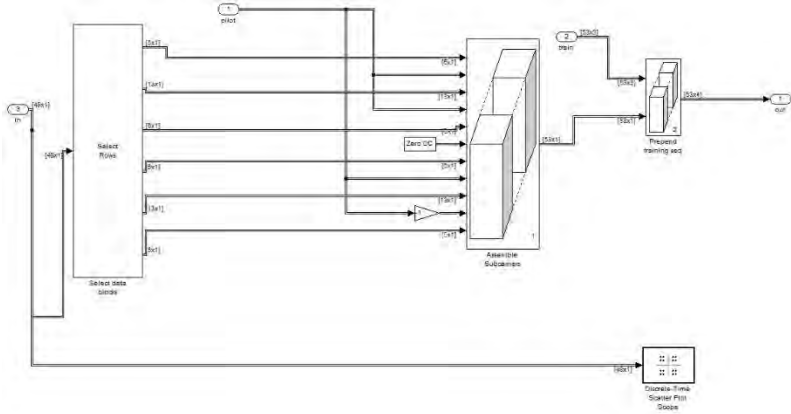
5.6 Blok diagram sistem pemancar implementasi



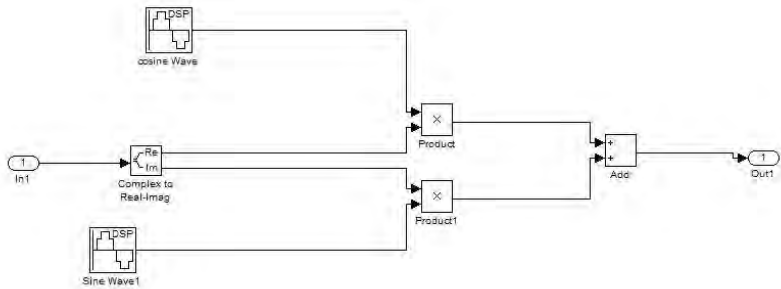
5.7 **Blok diagram rangkaian Subcarrier 16, 32**



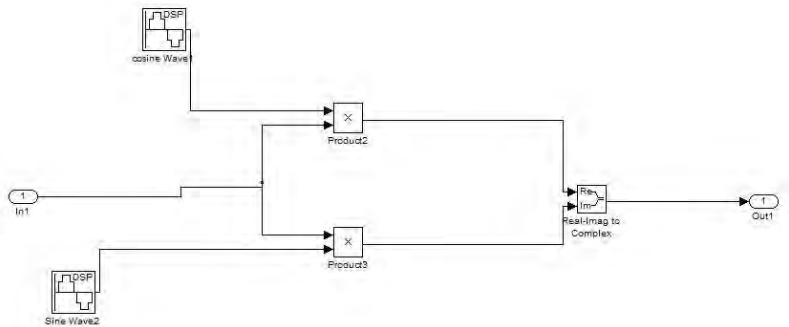
5.8 **Blok diagram rangkaian Subcarrier 64, 128, 256, 512**



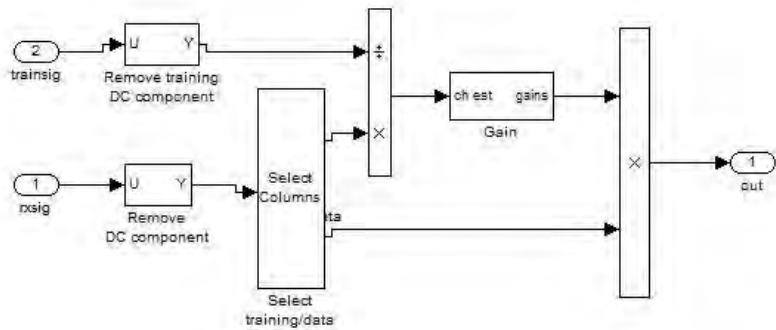
5.9 Blok diagram Modulator



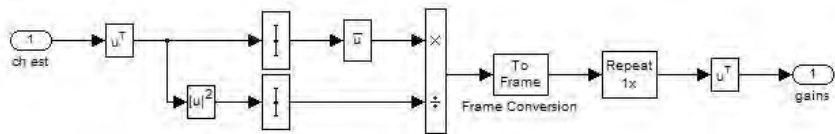
5.10 Blok diagram Demodulator



5.11 Blok diagram deteksi data



5.12 Blok diagram Gain



OFDM ACOUSTIC MODEM ANALYSIS USING TMS320C6416 IN UNDERWATER CHANNEL ENVIRONMENT

Johanna Aprilia
2211 100 178

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Supervisor II : Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.

ABSTRACT

There are lot of research to deploy underwater sensor network using acoustic signal that will enable to real-time monitoring and capabilities for self-configuration and bring advantage significantly for application such as commercial application, monitoring area, and military detection.

The significantly different characteristics of communication in water require many networking paradigms to be revisited. Consequently, the major challenges in the design of underwater sensor networks are the available bandwidth is severely limited, propagation delay under water is five orders of magnitude higher than that in RF terrestrial channel and extremely variable, high bit error rates and temporary losses of connectivity can be experienced due to the extreme characteristics of under water channel.

OFDM acoustic modem analysis using TMS320C6416 in underwater channel environment is proposed. The result is present in ideal channel, then simulated it AWGn and Rayleigh channel which represented the underwater channel. The System has not reach the best performance which the BER is still 0,5115 in underwater channel represented by speaker and microphone. This is because there is not channel estimation and carrier synchronization in the system.

Keyword : Underwater Communication System, OFDM

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah diberikanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

“ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR”

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata I pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung serta membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Wirawan dan Ibu Dr. Ir Titiek Suryani, selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Endroyono selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Tri Arief Sardjono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI ITS Surabaya.
4. Kedua Orang Tua saya, Bapak Rosidhi dan Ibu Trisiana yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa.
5. Teman-teman Teknik Elektro ITS khususnya Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia dan seluruh warga Laboratorium Komunikasi Multimedia B304. Semua rekan-rekan yang banyak terlibat dalam pengerjaan tugas akhir ini dan tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Penulis

Johanna Aprilia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
1 DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
1 BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	4
1.7 Relevansi	4
2 BAB 2.....	6
2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air	6
2.1.1 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air	7
2.1.2 Area Penelitian Komunikasi Bawah Air	8
2.1.3 Karakteristik Kanal Bawah Air	8
2.2 Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK).....	9
2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....	10
2.4 Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) [4].....	11
2.5 Cyclic Prefix.....	12
2.6 Spektrum Square Root Raised Cosine	13
2.7 Digital Signal Processor Starter Kit (DSK) TMS320C6416DSK	15

2.8	Code Composer Studio [4]	17
2.9	Simulink	18
3	BAB 3	20
3.1	Desain Sistem OFDM	20
3.1.1	Rangkaian OFDM Frame untuk 16 dan 32 Subcarrier	22
3.1.2	Rangkaian OFDM Frame untuk 64, 128, 256 Subcarrier	23
3.2	Skenario Pengukuran.....	28
3.2.1	Simulasi pada MATLAB Simulink.....	28
3.2.2	Implementasi pada TMS320C6416	31
4	BAB 4 PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISIS SISTEM ...	34
4.1	Analisa Sistem OFDM pada Simulasi	34
4.2	Analisa Sistem OFDM pada Kanal Bawah Air dengan Simulink	36
4.2.1	16 Subcarrier.....	36
4.2.2	32 Subcarrier.....	38
4.2.3	64 Subcarrier.....	40
4.2.4	128 Subcarrier.....	42
4.2.5	256 Subcarrier.....	44
4.3	Analisa Sistem OFDM pada TMS320C6416.....	46
4.4	Analisa Kanal Bawah Air.....	47
5.	BAB 5 PENUTUP	50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran.....	50
	DAFTAR PUSTAKA.....	52
	BIOGRAFI PENULIS.....	54
	LAMPIRAN	56
A.	Instalasi dan Deteksi Perangkat Lunak.....	56
B.	Integrasi MATLAB Simulink dengan CCS v3.1	57
C.	Blok Diagram Simulink	61

5.3	Blok diagram sistem secara umum	61
5.4	Blok diagram sistem pemancar simulasi	62
5.5	Blok diagram sistem penerima simulasi	63
5.6	Blok diagram sistem pemancar implementasi	64
5.7	Blok diagram rangkaian Subcarrier 16, 32	65
5.8	Blok diagram rangkaian Subcarrier 64, 128, 256, 512	65
5.9	Blok diagram Modulator	66
5.10	Blok diagram Demodulator	66
5.11	Blok diagram deteksi data	66
5.12	Blok diagram Gain	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Mapping</i> Modulasi QPSK	20
Tabel 3.2 Ketentuan perangkat keras untuk simulasi	29
Tabel 4.1 Bit Error Rate masing – masing subcarrier pada implementasi	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Path</i> propagasi dasar lautan. <i>Direct Path</i> (DP) b. <i>Surface Duct</i> (SD) c. <i>Bottom bounce</i> (BB) d. <i>Convergence Zone</i> (CZ) e. <i>Deep Sound Channel</i> (DSC) dan f. <i>Reliable Acoustic path</i> (RAP)	9
Gambar 2.2 Konstelasi sinyal QPSK.....	10
Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi OFDM.....	11
Gambar 2.4 Fungsi dari <i>Cyclic Prefix</i>	12
Gambar 2.5 <i>Cyclic Prefix</i> pada OFDM	13
Gambar 2.6 (a) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Waktu, (b) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Frekuensi	14
Gambar 2.7 (atas) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Domain Waktu, (bawah) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Frekuensi	15
Gambar 2.8 DSK TMS320C6416T	16
Gambar 2.9 Blok Diagram Skematik DSK TMS320C6416T.....	16
Gambar 2.10 Tampilan Code Composer Studio v3.1	18
Gambar 2.11 <i>Library Browser</i> Simulink	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem OFDM pada Simulink	21
Gambar 3.2 Konstelasi QPSK	22
Gambar 3.3 Model OFDM Frame Subcarrier 16 dan 32	22
Gambar 3.4 Susunan data paralel subcarrier 16 dan 32.....	23
Gambar 3.5 Model OFDM frame subcarrier 64, 128, 256	23

Gambar 3.6 Susunan data parallel subcarrier 64, 128, 256, 512	24
Gambar 3.7 Susunan data serial subcarrier 16	25
Gambar 3.8 Susunan data serial subcarrier 32	25
Gambar 3.9 Susunan data serial subcarrier 64	25
Gambar 3.10 Susunan data serial subcarrier 128	25
Gambar 3.11 Susunan data serial subcarrier 256	25
Gambar 3.12 Penempatan 0 sebelum filter	26
Gambar 3.13 Konsep Kerja Modulator[6]	26
Gambar 3.14 Blok diagram skema perbaikan delay	27
Gambar 3.15 Program untuk simulasi Simulink	28
Gambar 3.16 Speaker Mono Philips	30
Gambar 3.17 pengambilan audio.....	30
Gambar 3.18 Implementasi pada TMS320C6416	31
Gambar 3.19 Program untuk menangkap suara implementasi	32
Gambar 3.20 Implementasi pada TMS320C6416	33
Gambar 4.1 Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal AWGN di subcarrier yang berbeda.....	34
Gambar 4.2 Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal Rayleigh di subcarrier yang berbeda.....	35
Gambar 4.3 Konstelasi Sistem Subcarrier 16 pengirim	36
Gambar 4.4 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 16 Pengirim ...	37
Gambar 4.5 Spektrum Frekuensi Bandpass Subcarrier 16 Pengirim ...	38
Gambar 4.6 Konstelasi Sistem Subcarrier 32 pengirim	39
Gambar 4.7 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 32 Pengirim ...	39
Gambar 4.8 Spektrum Frekuensi Passband Subcarrier 32	40
Gambar 4.9 Konstelasi sistem subcarrier 64 pengirim.....	41

Gambar 4.10 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 64	41
Gambar 4.11 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 64.....	42
Gambar 4.12 Konstelasi sistem subcarrier 128 pengirim	43
Gambar 4.13 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 128 pengirim .	43
Gambar 4.14 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 128 pengirim .	44
Gambar 4.15 Konstelasi sistem subcarrier 256 pengirim	45
Gambar 4.16 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 256 pengirim .	45
Gambar 4.17 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 256.....	46
Gambar 4.18 Sinyal yang dipancarkan speaker.....	47
Gambar 4.19 Sinyal yang diterima speaker pada simulasi Simulink MATLAB.....	48
Gambar 4.20 perbandingan sinyal sinus yang dikirim dan diterima....	48

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ian F, Akyildiz, “*Wireless Sensor Networks*”, Wiley, 2011, pp. 400 – 416
- [2] Hai ,Yan, “*DSP based receiver implementation for OFDM acoustic modems*”, Elseveir Journal of Physical Communication, 2011
- [3] Yuandhika, Adhi, “Implementasi Modem Akustik OFDM pada TMS320C6416”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011, pp 57-75
- [4] Chassing, Rulph, “*Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK*”, Wiley, 2005, pp 1-7
- [5] Etter, Paul C., “*Underwater Acoustic Modeling and Smiulation fourth edition*”, CRC Press, 2013, pp 5-66
- [6] Cook, Jarrod, “*Ultra-Wideband Research and Implementation*”, Senior Capstone Project, 2007
- [7] Proakis, G.J, Salehi, M., “*Digital Communications, Fifth Edition*”, Mc Graw Hill, New York, Ch. 9, 2008
- [8] Zoltwoski, M., “*Equations for the Raised Cosine and Square Root Raised Cosine Shapes*”, URL: <https://engineering.purdue.edu/~ee538/SquareRootRaisedCosine.pdf>, 2014

BIOGRAFI PENULIS



Johanna Aprilia lahir di Jakarta, 14 April 1994. Bungsu dari 3 bersaudara ini telah menempuh pendidikan dasar di Jakarta yaitu yang terakhir adalah SMA Negeri 61 Jakarta hingga akhirnya sekarang berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknk Elektro, bidang studi Telekomunikasi Multimedia angkatan 2011. Penulis telah aktif sebagai asisten praktikum Dasar Sistem Telekomunikasi selama 2 periode terakhir dan juga praktikum Komunikasi Data selama 2 periode. Penulis juga pernah melakukan tugas proyek Desain Sistem Monitoring Rumah Kaca ITS menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini banyak penelitian untuk membangun sebuah jaringan sensor nirkabel bawah air yang menggunakan sinyal akustik yang bersifat *realtime* serta kapabilitas untuk *self-configuration* dan membawa keuntungan yang signifikan untuk aplikasi seperti eksplorasi komersial, perlindungan wilayah dan deteksi ancaman militer. Namun gangguan kanal akustik berupa *multipath* yang menyebabkan ISI membuat *bandwidth* yang tersedia terbatas [1].

Teknik yang dianggap mampu untuk mengatasi hal tersebut merupakan modulasi *multicarrier* dalam bentuk pembagian frekuensi *orthogonal multiplexing* (OFDM) dengan *data rate* tinggi (3,2 Kbps) [1,2,3]. Pada OFDM digunakan teknik *spread-spectrum* yang efisien ketika *noise* melebar ke *bandwidth* yang tersedia dan juga mengurangi efek *multipath* serta efisiensi tinggi pada spektral karena durasi simbol pada masing – masing *carrier* terus meningkat [1]. Pada penelitian sebelumnya telah diimplementasikan pengirim akustik OFDM menggunakan DSK TMS320C6416, namun penerima dengan perangkat tersebut belum dioperasikan [3].

Untuk mengimplementasikan modem akustik OFDM dilakukan dengan pemrograman pada DSK TMS320C6416. DSK TMS320C6416 merupakan keluarga dari DSK TMS 320C6x yang sangat cocok digunakan untuk frekuensi suara dengan frekuensi sampel 0-96KHz [4] serta telah banyak digunakan untuk implementasi modem bawah air [2,3]. DSK tersebut digunakan karena sesuai dengan karakteristik komunikasi bawah air yang bekerja pada 10 Hz – 1000 kHz [5].

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana membuat simulasi OFDM pada Matlab?
2. Bagaimana mendesain sistem OFDM untuk kanal akustik bawah air?
3. Bagaimana cara mengintegrasikan pemodelan sistem pada DSK TMS320C6416?
4. Apa beda desain sistem OFDM untuk kanal bawah air dan bukan untuk kanal bawah air?

5. Bagaimana kinerja DSK TMS320C6416 dalam melakukan proses modulasi sinyal digital serta demodulasi sinyal akustik OFDM?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Sistem yang diuji bekerja pada frekuensi baseband dan bandpass dengan mempertimbangkan frekuensi *sampling* yang digunakan
2. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan 1 DSK TMS320C6416
3. Sistem diteliti menggunakan kanal udara yakni microphone dan speaker. Parameter yang digunakan untuk pengujian sistem adalah BER.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

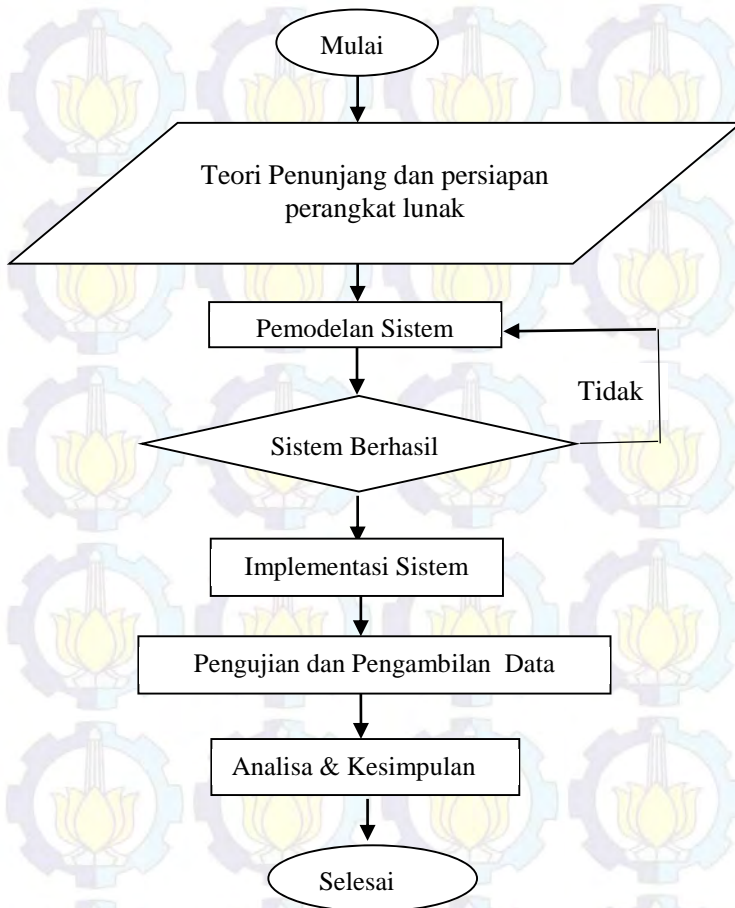
1. Merancang model simulasi modem akustik OFDM yang sesuai dengan karakteristik DSK TMS320C6416 dengan menggunakan Simulink MATLAB.
2. Mengimplementasikan model modem akustik OFDM DSK TMS320C6416 yang dinyatakan dengan bantuan perangkat lunak yang terintegrasi
3. Mengetahui dan mengimplementasikan kinerja modem akustik OFDM pada DSK TMS320C6416 yang dinyatakan dalam BER vs SNR

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan untuk Tugas Akhir ini bisa dilihat pada bagan. Proses ini merupakan langkah yang harus dilakukan secara sistematis demi kelancaran penelitian :

- Teori Penunjang dan Persiapan Perangkat Lunak : Studi yang dilakukan untuk mencari referensi yang sesuai untuk desain sistem disertai juga diskusi untuk menemukan referensi yang tepat.
- Pemodelan Sistem : Sistem dimodelkan dengan menggunakan MATLAB Simulink dan berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari sebelumnya.
- Simulasi Sistem : Simulasi ini akan menggunakan kanal bawah air dimana mik dan speaker sebagai media kanal bawah air dan akan dilaksanakan di Simulink.

- Implementasi Sistem : Simulasi akan dilakukan untuk memastikan sistem memiliki Bit Error Rate yang rendah. Implementasi dilakukan pada TMS320C6416T.
- Pengujian dan Pengambilan : Parameter diidentifikasi apakah sesuai dengan sistem yang seharusnya atau perlu diperbaiki.
- Analisa dan Kesimpulan : Analisa dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan serta identifikasi sistem.



1.6 Sistematika Pembahasan

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang penjelasan mengapa mengambil topik Tugas Akhir ini. Serta berisi tentang batasan masalah serta manfaat dari Tugas Akhir.

Bab II Jaringan Sensor Nirkabel dan Multihop

Berisi tentang dasar teori penunjang untuk pengerjaan Tugas Akhir ini. Diantaranya adalah OFDM, Simulink, dan Cyclic Prefix. Teori ini bertujuan untuk membantu pemahaman dan pengaplikasian.

Bab III Perancangan Sistem Monitoring

Pada bab ini dijelaskan mengenai desain sistem yang dibuat untuk pengimplementasian alat. Desain sistem mulai dari pemancar dan penerimanya serta blok diagram juga dijelaskan.

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari implementasi desain pada alat TMS320C6416. Setelah hasil diperoleh, analisa awal juga dilakukan untuk mengetahui kesimpulannya.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Hasil yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Memahami kendala, proses dan cara kerja OFDM pada TMS320C6416 untuk komunikasi bawah air
2. Membantu perkembangan teknologi modem untuk jaringan sensor nirkabel bawah air selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air

Akustik bawah air memerlukan sebuah pembangunan dan pembentukan dari akustik ke gambaran fitur bawah air, atau mengukur properti kelautan. Pada dasarnya, *modeling* merupakan sebuah metode untuk mengorganisir pengetahuan yang terakumulasi melalui observasi atau deduksi dari prinsip yang mendasari hal tersebut.

Disiplin ilmu dari akustik bawah air telah berjalan menjadi sebuah transmisi yang panjang dari fase observasi menjadi fase prediksi dan mengerti hal tersebut. Transisi ini tidak selalu mudah : observasi langsung secara tradisional terbatas, menghasilkan alat prediksi (model) tidak selalu sempurna, dan banyak perbaikan yang harus diselesaikan.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi sistem komunikasi bawah air ini, diantaranya adalah air laut itu sendiri. Air laut merupakan cairan biner yang mengandung kandungan garam yang bervariasi. Keberadaan garam tersebut mempengaruhi jumlah dari parameter yang ingin diukur, yaitu tekanan, kecepatan suara, index refraktif, titik beku, dan *density* maksimum dari temperatur.

Adapun beberapa karakteristik dari kanal bawah air yang selama 10 tahun ini telah diteliti untuk mendukung modulasi tertentu. Karakteristik kanal bawah air yang menantang membuat pembangunan modem bawah air berdasarkan non koheren *frequency shift keying* (FSK). Selama ini dibutuhkan modulasi yang bisa menekan efek multipath dengan menyisipkan waktu guard diantara pulse untuk memastikan gema yang disebabkan oleh kerasnya permukaan dan dasar laut, hilang sebelum pulsa diterima. Guard frekuensi dinamik bisa digunakan diantara frekuensi untuk adaptasi komunikasi untuk *Doppler spread* kanal.

Sebagai contoh non koheren FSK bergantung pada deteksi energy dan tidak membutuhkan *phase tracking*, yang sangat sulit karena Doppler spread pada kanal bawah air. Walaupun modulasi non koheren karakteristiknya adalah efisiensi daya yang tinggi, efisiensi bandwidth yang rendah membuat hal tersebut tidak cocok untuk jaringan banyak user dengan kecepatan data yang tinggi. Maka dari itu, teknik modulasi koheren dibuat untuk jarak yang jauh, sistem *high-throughput*.

Adapun solusi yang selama ini sedang diteliti untuk komunikasi bawah air yaitu teknik *spread-spectrum* Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), yang mana setidaknya efisien ketika noise tersebar luas ke banyak bandwidth yang tersedia. Sistem OFDM ini dengan kuat menunjukkan pencapaian efisiensi spectra yang tinggi serta lingkungan yang terkena multipath.

Berikut dijelaskan bagian dari komunikasi bawah air yaitu jaringan sensor nirkabel bawah air, serta karakteristik dan komponen pendukungnya.

2.1.1 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air

Kapabilitas yang potensial dari jaringan sensor nirkabel bawah air dan banyak variasi dari aplikasi baru yang akan tersedia memotivasi pembangunan dari teknik komunikasi dari lingkungan bawah air. Apalagi, perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air membutuhkan banyak paradigma jaringan ditinjau kembali. Konsekuensinya, tantangan utama pada desain jaringan komunikasi bawah air adalah :

1. *Bandwidth* yang tersedia biasanya terbatas
2. *Delay* propagasi pada bawah air lima kali lebih besar amplitudonya dibandingkan kanal terrestrial RF.
3. Kanal bawah air sering kali melemahkan, apalagi karena *multipath*.
4. *Bit Error Rate* yang tinggi dan kehilangan koneksi yang temporer bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air

Karakteristik propagasi dari air mengindikasikan bahwa gelombang elektromagnetik terpropagasi sepanjang jarak yang jauh lewat air laut konduktif hanya pada frekuensi yang sangat rendah yaitu 30 – 300Hz. Serta karakteristik dari jaringan sensor nirkabel bawah air adalah : pertama, sensor bawah air merupakan alat yang mahal. Apalagi karena kompleksnya penerima bawah air dan proteksi untuk perangkat keras diperlukan pada lingkungan bawah air yang ekstrim. Kedua, daya yang dibutuhkan untuk komunikasi akustik bawah air lebih besar dibandingkan komunikasi radio terrestrial karena jarak yang lebih jauh dan proses sinyal yang lebih kompleks.

2.1.2 Area Penelitian Komunikasi Bawah Air

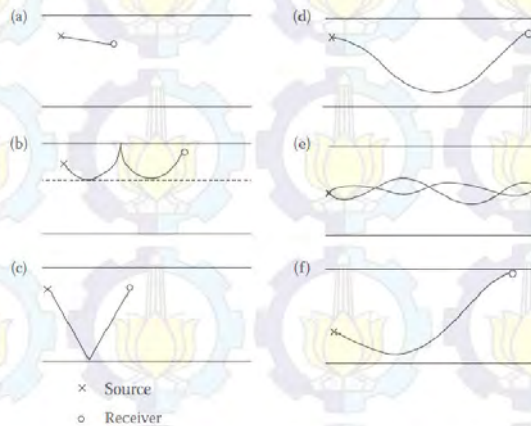
Menurut penelitian dari Angkatan Laut (Departemen Angkatan Laut Amerika Serikat, 2007), akustik laut diperhitungkan menjadi tanggung jawab dari Angkatan Laut nasional Amerika Serikat di bidang teknologi dan sains. Tiga pokok utama yang menjadi perhatian adalah : *Shallow-water acoustic*, *high-frequency acoustic*, dan *deep-water acoustic*.

1. *Shallow-water acoustic* yaitu menyangkut propagasi dan *scattering* pada energi akustik frekuensi rendah (10Hz – 3KHz) dalam lingkungan *shallow-water*.
2. *High-frequency acoustic* yaitu menyangkut interaksi dari suara *high-frekquency* (2 - 1000kHz) dalam lingkungan bawah air, dengan dilihat dari segi mitigasi atau eksploitasi dari interaksi pada deteksi akustik, klasifikasi, dan sistem komunikasi.
3. *Deep-water acoustic* yaitu menyangkut propagai akustik frekuensi rendah, *scattering*, dan komunikasi pada jarak dari 10 hingga 1000 kilometer di bawah laut dimana kanal suara bisa atau tidak bisa dibatasi dasar. Komponen yang menjadi daya tarik : efek dari variasi lingkungan dengan gelombang internal dan pasang internal.

Model ini telah digunakan secara luas untuk penelaahan ilmiah lebih lanjut tanpa menggunakan sumber daya yang langka pada observasi di bidang tertentu.

2.1.3 Karakteristik Kanal Bawah Air

Kecepatan suara di dalam air dipengaruhi oleh temperatur air, kepekaan dan tekanan air yang dipengaruhi tingkat kedalaman. Beberapa asumsi digunakan untuk memudahkan penurunan persamaan dasar akustik. Komponen gaya gesek tidak disertakan karena tidak adanya gaya gesek antar partikel, kecepatan fluida diasumsikan sangat kecil bila dibandingkan dengan kecepatan sinyal akustik yang merambat sehingga nilainya dianggap nol. Sinyal suara merambat ke berbagai arah dalam air, terpantulnya sinyal oleh permukaan dan dasar air menyebabkan *multipath*. Berikut ini merupakan *path* yang digunakan bergantung pada karakteristik kecepatan suara pada kolom air laut yang digunakan sebagai saluran transmisi dan posisi relatif penerima terhadap sumber suara.



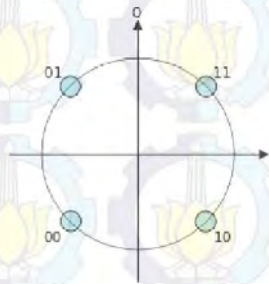
Gambar 2.1 Path propagasi dasar lautan. *Direct Path (DP)* b. *Surface Duct (SD)* c. *Bottom bounce (BB)* d. *Convergence Zone (CZ)* e. *Deep Sound Channel (DSC)* dan f. *Reliable Acoustic path (RAP)*

Path tersebut yaitu *direct path*, *surface duct*, *bottom bounce*, *convergence zone*, *deep sound channel* dan *reliable acoustic path*. Hal ini memungkinkan adanya pemakaian kombinasi dari beberapa *path* dalam teknik propagasi *multipath*. *Direct path* (a) merupakan teknik propagasi dimana sinyal bergerak secara langsung dari sumber ke penerima, biasanya pada jarak yang relatif dekat. *Surface duct* (b) adalah teknik dimana sinyal akustik secara bergantian dipantulkan oleh permukaan air laut dan dibiaskan hingga pada kedalaman *Sonic Layer Depth (SLD)*. Sementara pada teknik *bottom bounce* (c), sinyal akustik dipantulkan oleh dasar laut untuk menuju ke penerima. Pada *convergence zone* (d), sinyal akustik dibiaskan pada kedalaman tertentu tanpa menyentuh permukaan maupun dasar laut. *Deep sound channel* (e) adalah teknik dimana sinyal akustik dipropagasikan pada kedalaman dimana kecepatan suaranya minimum sehingga air laut memiliki sifat seperti lensa dan dapat membiaskan sinyal. Sedangkan RAP atau *Reliable Acoustic Path* (f) adalah cara dimana sumber diletakkan pada kedalaman kritis.

2.2 Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Modulasi QPSK merupakan salah satu jenis modulasi M - quadrature Amplitude Modulation (QAM) dengan $M=4$. Bit input biner

dipisah menjadi dua kanal transmisi baseband yaitu I dan Q, kemudian pada kanal tersebut sinyal diubah menjadi sinyal PAM oleh pengubah, dari sinyal biner yang memiliki amplitude +1 dan 0, ke sinyal L level yang memiliki amplitude $+(L - 1)$ dan $-(L - 1)$, lazim disebut 2 to L Converter, dimana nilai $L = 2k/2$. Setelah sinyal menjadi sinyal PAM, lalu dimodulasi dengan modulator seimbang (balanced modulator) dengan $\sin(\omega t)$ pada kanal I dan $\cos(\omega t)$ pada kanal Q, kemudian dijumlahkan secara linier, menjadi sinyal $I+jQ$ dan sinyal menjadi sinyal termodulasi M-QAM. Gambar 2.2 menunjukkan konstelasi sinyal QPSK.

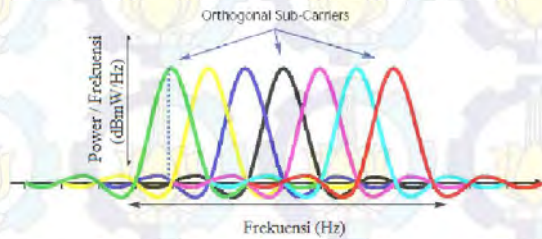


Gambar 2.2 Konstelasi sinyal QPSK

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) memiliki empat simbol yang mempunyai amplitude sama dengan fase yang berlainan. Keempat simbol tersebut dibentuk dari grup dua bit input, sehingga diperoleh empat kondisi yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11. Setiap bit menghasilkan satu dari empat fase yang mungkin, sehingga rate keluarannya adalah setengah dari rate input.

2.3 **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**

OFDM merupakan teknik transmisi data kecepatan tinggi menggunakan beberapa sub carrier, sehingga kecepatan data yang ditransmisikan menjadi lebih rendah. Pada teknik transmisi OFDM setiap sub carrier tidak dialokasikan berdasarkan bandwidth yang ada, melainkan sub carrier tersebut disusun saling overlapping dan orthogonal. Sifat orthogonal diantara sub carrier inilah yang menyebabkan munculnya istilah Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai dengan 50%. Spektrum sinyal OFDM bisa dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Spektrum Frekuensi OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu subcarrier. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *sub carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub carrier*.

2.4 Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) [4]

Fast Fourier Transform (FFT) adalah algoritma efisien yang biasa digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi, berdasarkan *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT mengkonversi *sequence* dalam domain waktu menjadi *sequence* domain frekuensi. FFT merupakan algoritma yang sangat efisien berdasar pada DFT, tapi dengan komputasi yang lebih sedikit.

FFT merupakan satu dari banyak yang biasa dipakai untuk proses sinyal digital untuk analisis spektrum frekuensi. Dua prosedur yang berbeda untuk menghitung FFT : *decimation-in-frequency* dan *decimation-in-time*. FFT mengurangi perkiraan perhitungan yang dibutuhkan untuk DFT. DFT sinyal *discrete-time* $x(nT)$ adalah :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{nk} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.1)$$

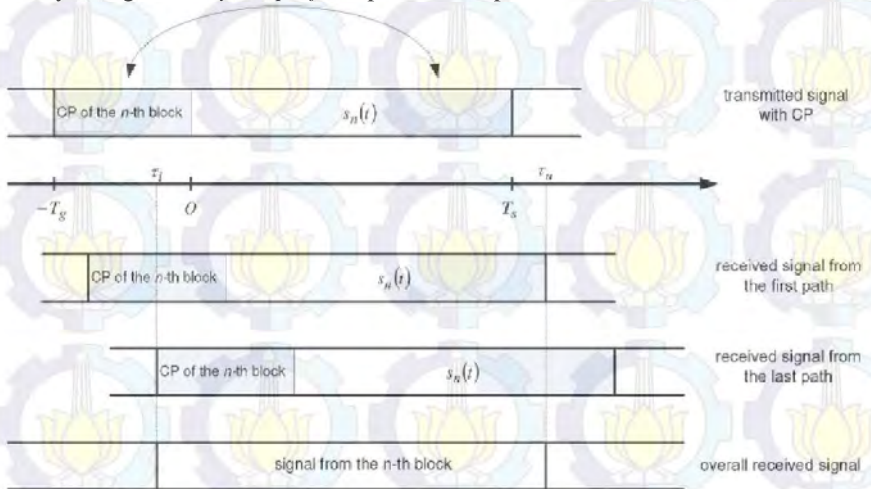
Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT) mengubah *sequence* domain frekuensi $X(k)$ ke *sequence* $x(n)$ pada domain waktu. Hal tersebut didefinisikan sebagai :

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W^{-nk} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.2)$$

Dengan membandingkan persamaan (2.1) dan (2.2), bisa dilihat bahwa algoritma FFT bisa digunakan untuk menemukan Inverse FFT dengan mengubah dua cara : menambahkan faktor skala untuk $1/N$ dan mengganti W^{nk} dengan konjugasi kompleks W^{-nk} .

2.5 Cyclic Prefix

Cyclic prefix merupakan salinan bagian akhir dari suatu symbol OFDM dan menempatkannya pada bagian depan blok symbol tersebut. Tujuan dari adanya *cyclic prefix* yaitu untuk mengurangi kemungkinan terjadinya ISI bukan berarti menghilangkan. Panjang dari *cyclic prefix* harus lebih panjang daripada kanal respons impuls kanal. Untuk lebih jelasnya fungsi dari *cyclic prefix* diperlihatkan pada Gambar 2.4



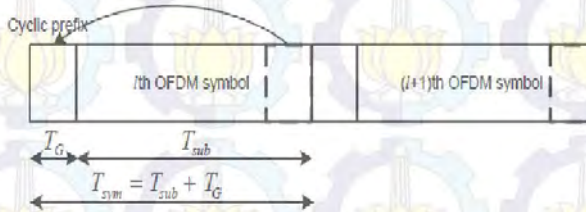
Gambar 2.4 Fungsi dari *Cyclic Prefix*

Dari gambar diatas dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan dari symbol OFDM yaitu:

$$T_{sym} = T_{sub} + T_G \quad (2.3)$$

Dimana:

T_{sub} = Panjang symbol OFDM tanpa *cyclic prefix*
 T_G = Panjang *cyclic prefix*
 T_{sym} = Total panjang symbol OFDM



Gambar 2.5 *Cyclic Prefix* pada OFDM

2.6 Spektrum Square Root Raised Cosine

Bentuk sinyal pulsa pada komunikasi digital memiliki spektrum yang lebar pada domain frekuensi. Untuk mengatasi hal tersebut pada kanal yang Band-Limited, diperlukan desain dari sinyal Band-Limited tanpa Intersymbol Interference, dengan berdasarkan teorema Nyquist. Bentuk spektrum pulsa khusus, yang memiliki properti spektral yang sesuai, dan telah umum digunakan pada prakteknya, adalah spektrum raised cosine. Karakteristik frekuensinya dapat dijelaskan melalui persamaan berikut ini:

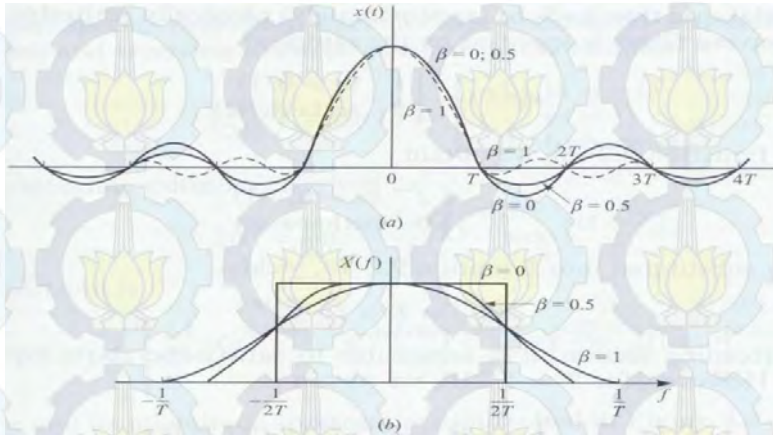
$$Z(f) = \begin{cases} T_s, & 0 \leq |f| \leq \frac{1-\beta}{2T_s} \\ \frac{T_s}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi T_s}{\beta} \left(|f| - \frac{1-\beta}{2T_s} \right) \right] \right\}, & \frac{1-\beta}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{1+\beta}{2T_s} \\ 0, & |f| > \frac{1+\beta}{2T_s} \end{cases} \quad (2.4)$$

Sedangkan persamaannya dalam domain waktu adalah:

$$z(t) = \text{sinc} \left(\frac{\pi t}{T_s} \right) \frac{\cos(\pi \beta t / T_s)}{1 - \frac{4\beta^2 t^2}{T_s^2}} \quad (2.5)$$

dimana β disebut dengan *roll-off factor*, dimana pengertiannya adalah besarnya bandwidth yang ditempati oleh sinyal melebihi frekuensi Nyquist $1/2T$. Nilai β yang semakin besar akan menghasilkan sidelobe

yang makin kecil pada domain waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 (a) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Waktu, (b) Bentuk Pulsa yang Memiliki Spektrum Raised Cosine pada Domain Frekuensi

Sedangkan spektrum *square root raised cosine* memiliki hubungan dengan spektrum raised cosine pada domain frekuensi sebagai berikut:

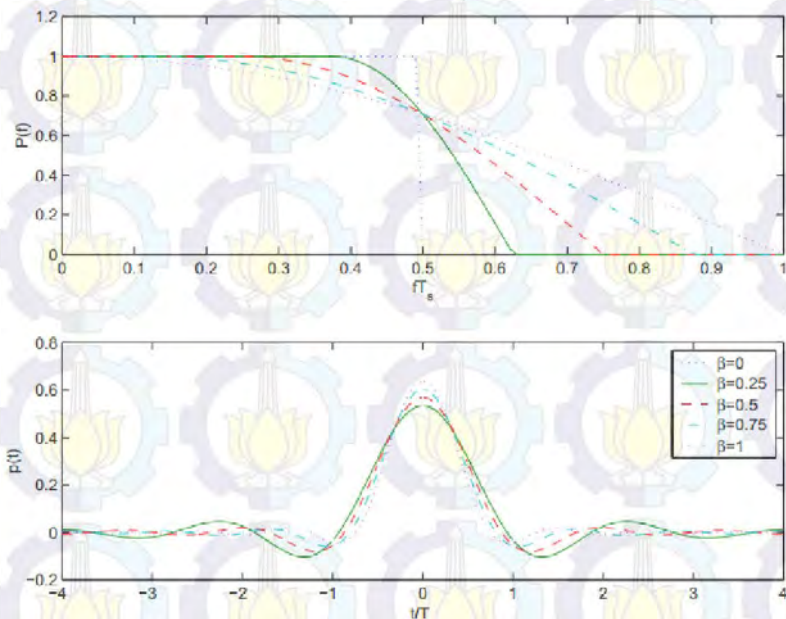
$$P(f) = |Z(f)|^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Sehingga menghasilkan bentuk pulsa yang dalam fungsi waktu dapat didefinisikan melalui persamaan berikut :

$$p(t) = \frac{2\beta}{\pi\sqrt{T_s}} \frac{\cos[(1+\beta)\pi\frac{t}{T_s}] \frac{\sin[(1-\beta)\pi\frac{t}{T_s}]}{4\beta\frac{t}{T_s}}}{[1-(4\beta\frac{t}{T_s})^2]} \quad (2.7)$$

Sama seperti bentuk pulsa raised cosine, SQRRC ini juga dipengaruhi oleh *roll-off factor* untuk menentukan bentuk *sidelobe*.

Bentuk pulsa yang dihasilkan dari persamaan diatas adalah seperti pada gambar :



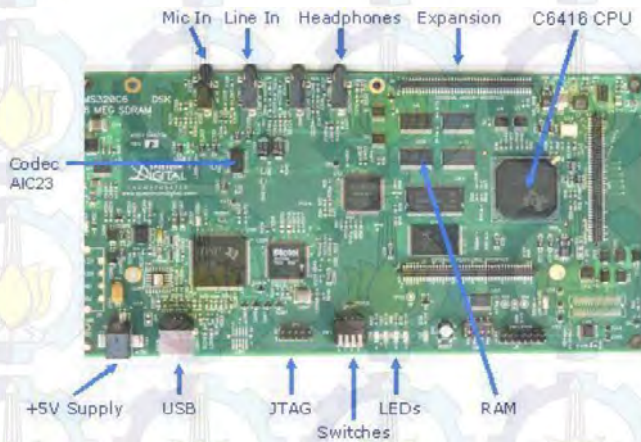
Gambar 2.7 (atas) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Domain Waktu, (bawah) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Frekuensi

2.7 Digital Signal Processor Starter Kit (DSK) TMS320C6416DSK

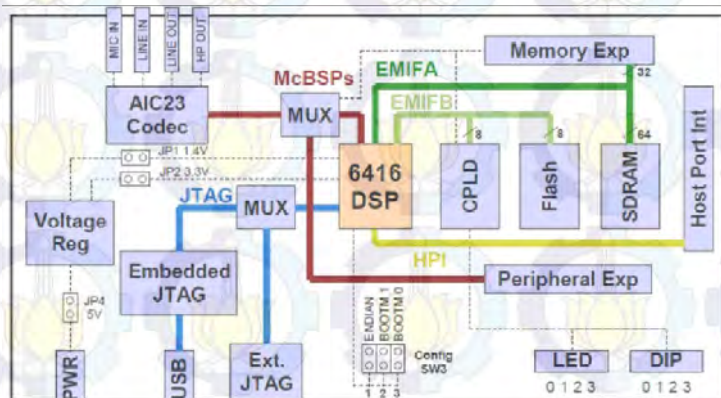
Digital Signal Processor TMS320C6416 merupakan mikroprosesor berkecepatan tinggi dengan tipe arsitektur yang cocok digunakan untuk mengolah sinyal. Notasi C6x merupakan kode dari produk DSP keluaran Texas Instruments TMS320C6000. Dengan menggunakan arsitektur *very long instruction word* (VLIW), DSP C6x menjadi prosesor tercepat keluaran Texas Instruments. Arsitektur VLIW pada DSP C6x sangat cocok untuk proses perhitungan yang intensif. Secara fisik DSK TMS320C6416T dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Untuk memudahkan dalam pemahaman, sebuah diagram skematik fungsional nya diberikan pada gambar 2.9. DSK menggunakan

suatu stereo codec dari Texas Instrument bertipe AIC23 untuk interface sinyal audio input dan output. Codec menyampel sinyal-sinyal analog pada microphone atau line input dan mengkonversikannya ke dalam bentuk data digital sehingga dapat diproses dengan DSP. Ketika DSP telah menyelesaikan pengolahan data (pemfilteran, dsb), maka codec ini juga bisa berfungsi dalam mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal output analog melalui *line out* atau headphone.



Gambar 2.8 DSK TMS320C6416T



Gambar 2.9 Blok Diagram Skematik DSK TMS320C6416T

Untuk memudahkan dalam pemahaman, sebuah diagram skematik fungsional nya diberikan pada Gambar diatas. Disini ada beberapa fitur kunci seperti:

1. Texas Instruments TMS320C6416T DSP beroperasi pada 225 MHz
2. Kode stereo AIC23
3. 8 MB DRAM sinkron
4. Memori Flash 512 KB non-volatile
5. 4 user dapat diakses LED dan DIP switch
6. Opsi boot dapat dikonfigurasi
7. Menggunakan konektor standar ekspansi untuk daughter card.
8. JTAG emulasi melalui on-board JTAG emulator dengan antarmuka USB atau eksternal emulator
9. Single tegangan catu daya (+ 5 v)

2.8 Code Composer Studio [4]

Code Composer Studio (CCS) merupakan sebuah *Integrated Development Environment (IDE)* untuk *Texas Instruments (TI) embedded processor* yang merupakan gabungan dari C compiler, assembler, linker, dan debugger. CCS merupakan *software easy to-use* untuk *build* dan *debug* program pada DSP processor, dan mampu melakukan analisis secara real time. IDE menyediakan *single user interface* untuk membawa setiap step dari aliran pengembangan aplikasi. *Tools* dan *interfaces* memungkinkan pengguna untuk memulai lebih cepat dan menambah fungsionalitas ke dalam aplikasi mereka berkat produktivitas dari peralatan yang canggih tersebut. Tampilan awal software CCS 3 ditunjukkan pada gambar 2.10

Untuk analisis real-time dapat menggunakan fasilitas *real-time data exchange (RTDX)* yang memungkinkan pertukaran data antara PC dan DSK tanpa melepas DSK CCS menyediakan *sebuah integrated development environment (IDE)* yang dapat membangkitkan kode program untuk dijalankan pada DSK. Tool untuk pembangkitan kode yang terdapat di dalam CCS yaitu C compiler, *assembler* dan *linker*.

CCS memiliki kemampuan grafis dan mendukung *real-time debugging*. C compiler mengkompilasi sebuah program dalam bahasa C dengan ekstensi *.c, untuk menghasilkan file assembly menggunakan ekstensi *.asm. Assembler memproses file *.asm untuk menghasilkan file bahasa mesin dengan ekstensi *.obj. Kemudian linker menggabungkan

file-file tersebut menjadi *executable file* dengan ekstensi *.out. DSK harus dihubungkan ke PC melalui port USB agar bisa diprogram dengan bantuan CCS.



Gambar 2.10 Tampilan Code Composer Studio v3.1

2.9 Simulink

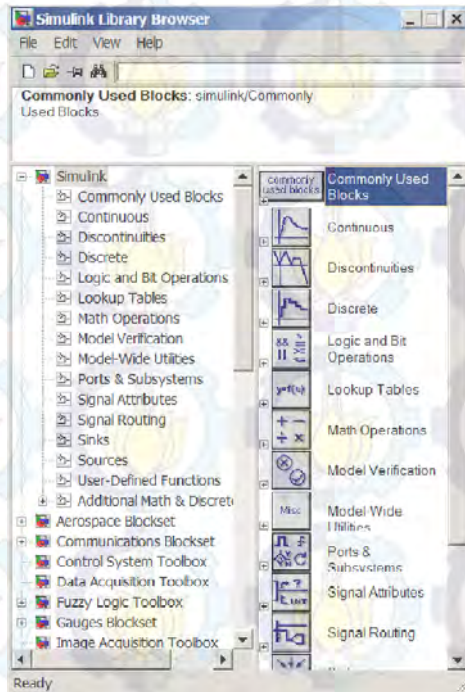
Simulink menyediakan sebuah *interface* yang interaktif dan berguna sekali untuk keperluan desain sistem yang dinamik. Informasi yang lebih detail dapat ditemukan di *Simulink: User's Guide*. Untuk memulai Simulink dari MATLAB, bisa dengan mengetik *command*

Simulink pada MATLAB atau bisa klik pada ikon simulink  di atas *window* MATLAB. Sebuah *Simulink Library Browser* akan muncul, yang mana mengandung blok utama Simulink dan semua blok yang Simulink punya.

Simulink terintegrasi dengan MATLAB dan data dapat ditransfer dengan mudah antar kedua program tersebut. Dengan adanya *templates/building blocks* menjadi salah satu keuntungan utama dari simulink sehingga tidak perlu menulis kode program untuk proses matematisnya. Blok ini termasuk blokset pengolahan sinyal digital, blokset komunikasi dan blokset *fixed-point*.

Untuk integrasi dengan TMS320C6416, Simulink menggunakan mode incremental build. Mode ini akan menghubungkan program

Simulink dengan CCS Studio yang nantinya akan berjalan di TMS320C6416.



Gambar 2.11 *Library Browser Simulink*

BAB 3

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan sistem komunikasi OFDM pada kanal bawah air yang masih duji di udara dengan menggunakan MATLAB Simulink yang diimplementasikan pada TMS320C6416. Pembahasan bab ini termasuk desain sistem OFDM pada Simulink dengan Subcarrier bervariasi : 16, 32, 64, 128, 256 sesuai dengan referensi yang telah dipelajari sebelumnya, serta pembahasan tentang metode pengukuran yang juga bervariasi.

3.1 Desain Sistem OFDM

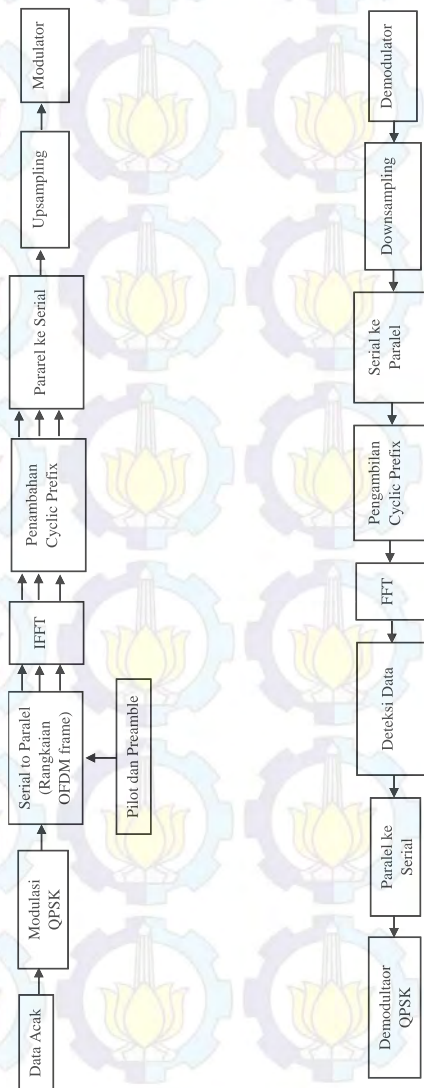
Perancangan sistem ini sebelumnya didasari pada [2] yang telah dimodifikasi untuk mendapatkan hasil sistem yang lebih baik. Sistem yang dimodifikasi ini akan dijelaskan pada subbab ini. Pada gambar 3.1 merupakan bagan konsep dari sistem OFDM yang akan didesain [2], konsep tersebut akan diaplikasikan pada semua subcarrier.

Secara garis besar, sistem ini terdiri dari pemancar dan penerima yang saling berhubungan dengan adanya beberapa kesamaan dalam komponen dan fungsinya. Pertama data acak dibangkitkan sesuai dengan subcarriernya. Pada subcarrier 16 dan 32 digunakan data acak bernouli sebanyak 20, subcarrier 64, 128, 256 sebanyak 96. Subcarrier 16 dan 32 berbeda dari yang lain karena penyusunan frame yang lebih kecil daripada yang lain. Untuk desain sistem dengan subcarrier 16, 32, 128, 25 tidak mengikuti standar manapun, sedangkan untuk subcarrier 64 mengikuti standar [6].

Proses selanjutnya adalah modulasi QPSK. Dalam modulasi ini setiap dua bit informasi di *mapping* menjadi satu simbol, *mapping* bit informasi menjadi simbol – simbol dapat dilihat pada tabel 3.1.

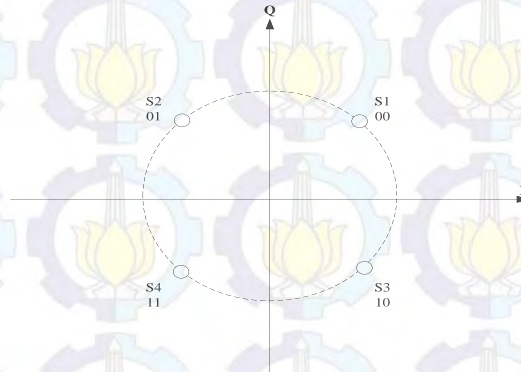
Tabel 3.1 Mapping Modulasi QPSK

Bit Info (left-msb)	Simbol	Nilai Simbol
00	S_1	$0.7071 + 0.7071j$
01	S_2	$-0.7071 + 0.7071j$
10	S_3	$0.7071 - 0.7071j$
11	S_4	$-0.7071 - 0.7071j$



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem OFDM pada Simulink

Setelah proses *mapping* ini selesai, penempatan titik konstelasi dilakukan sesuai koordinat nilai symbol masing – masing, seperti yang terlihat pada gambar 3.2

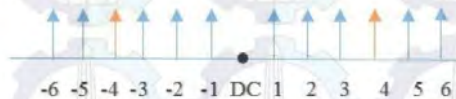


Gambar 3.2 Konstelasi QPSK

Untuk proses ini, semua subcarrier diperlakukan sama. Proses selanjutnya adalah penempatan pilot dan preamble serta penyusunan frame untuk OFDM. Preamble dimasukkan pada proses ini demi performansi sistem yang ideal. Pada proses ini tiap subcarrier berbeda dan akan dijelaskan pada subbab berikut.

3.1.1 Rangkaian OFDM Frame untuk 16 dan 32 Subcarrier

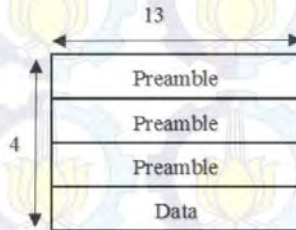
Untuk rangkaian frame pada subcarrier ini, pilot yang disisipkan ada 2, dengan zero DC berada ditengah. Subcarrier yang berisi ada 10. Model susunan frame yang terdiri dari pilot dan subcarrier ini bisa dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Model OFDM Frame Subcarrier 16 dan 32

Pengaturan pilot dan data pada OFDM frame adalah pilot pertama diselipkan diantara subcarrier 2 dan 3, pilot kedua disisipkan diantara subcarrier 3 dan 4. Frame ini nantinya akan

didahului dengan preamble yang panjangnya 13. Preamble ini terdiri dari angka 1 dan -1 serta ada 0 di tengahnya. Preamble ini diulang sebanyak tiga kali sehingga panjang preamble menjadi 39. Penambahan preamble ini bisa dilihat pada gambar 3.4, dimana preamble ini akan ditempatkan parallel dengan data.



Gambar 3.4 Susunan data paralel subcarrier 16 dan 32

Dalam hal ini digunakan preamble yang banyak dan diulang sebanyak tiga kali karena sistem lebih cocok menggunakan teknik ini daripada menyelipkan secara acak preamble-nya. Hal ini juga memudahkan dalam identifikasi preamble di penerima. Blok diagram sesungguhnya pada bagian ini bisa dilihat pada lampiran C.

3.1.2 Rangkaian OFDM Frame untuk 64, 128, 256 Subcarrier

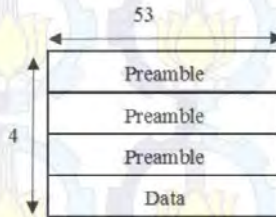
Untuk rangkaian frame pada Subcarrier ini menggunakan 4 pilot dengan zero DC yang berada di tengah [3]. Subcarrier yang berisi sebanyak 53. Model susunan frame yang terdiri dari pilot dan data bisa dilihat pada gambar 3.5, dimana preamble ini akan ditempatkan paralel dengan data.



Gambar 3.5 Model OFDM frame subcarrier 64, 128, 256

Pilot pertama disisipkan diantara 5 dan 7. Pilot kedua diantara 19 dan 21, pilot ketiga diantara 32 dan 35, pilot keempat

diantara 46 dan 48. Jumlah preamble pada subcarrier ini juga berbeda. Panjang satu preamble adalah 53 dan akan diulang sebanyak 3 kali dan diparalelkan dengan data seperti yang terlihat pada gambar 3.6



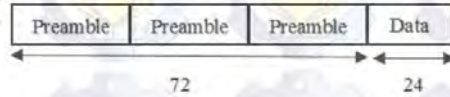
Gambar 3.6 Susunan data parallel subcarrier 64, 128, 256, 512

Sebab pengulangan preamble ini juga sama dengan subcarrier sebelumnya.

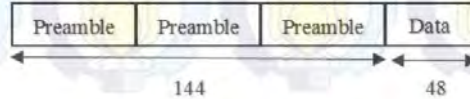
Proses selanjutnya adalah menambah digit 0 pada akhir frame sebanyak subcarrier yang diinginkan. Sehingga frame yang masuk ke IFFT sama dengan subcarrier yang dimaksud. Jika subcarrier-nya 16, maka tinggal ditambahkan digit 0 hingga ada 16×4 . Begitu juga untuk subcarrier yang lainnya.

Proses setelah IFFT adalah penambahan cyclic prefix sebanyak setengah dari total data yang parallel tersebut. Semua subcarrier diperlakukan sama sehingga subcarrier 16 mempunyai data 24×4 , subcarrier 32 mempunyai data 48×4 , subcarrier 64 mempunyai data 96×4 , subcarrier 128 mempunyai data 196×4 , subcarrier 256 mempunyai data 384×4 , subcarrier 512 mempunyai data 768×4 .

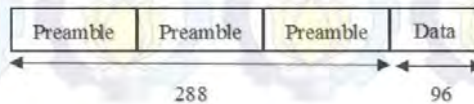
Setelah tadinya frame diubah ke paralel, maka sekarang frame masing – masing subcarrier akan di serial untuk nantinya akan dikirimkan. Panjang data ini tergantung dari banyaknya subcarrier yang disetel. Proses menjadi serial diurutkan dari preamble yang diulang sebanyak tiga kali, lalu yang terakhir adalah frame. Pada subcarrier 16 total ada 96×1 seperti pada gambar 3.7, subcarrier 32 ada 192×1 seperti pada gambar 3.8, subcarrier 64 ada 384×1 seperti pada gambar 3.9, subcarrier 128 ada 768×1 seperti pada gambar 3.10, subcarrier 256 ada 1536×1 seperti pada gambar 3.11.



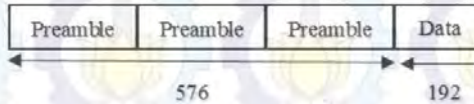
Gambar 3.7 Susunan data serial subcarrier 16



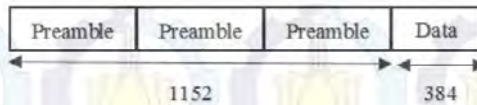
Gambar 3.8 Susunan data serial subcarrier 32



Gambar 3.9 Susunan data serial subcarrier 64

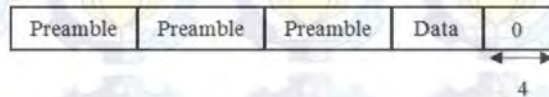


Gambar 3.10 Susunan data serial subcarrier 128



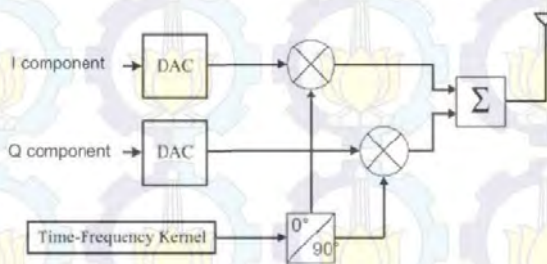
Gambar 3.11 Susunan data serial subcarrier 256

Supaya data siap dikirimkan, maka proses selanjutnya adalah data ini dilewatkan filter *raised cosine*. Filter yang akan digunakan adalah filter *root raised cosine*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan respon impuls yang lebih rapat daripada filter *raised cosine* biasa atau juga disebut sinyal *baseband*, serta filter ini juga berperan sebagai *upsampling* dimana hasil dari filter ini data akan dikalikan sebanyak *upsampling factor* yang dimaksud. *Setting* pada filter ini adalah *rolloff factor* dipilih 0.5, serta *upsampling factor* adalah 8 agar responnya terlihat. Pada hal ini, ditemukan bahwa terdapat *delay* yang ditimbulkan oleh filter ini. Maka dari itu, ditambahkan 0 pada akhir data sebanyak empat untuk nantinya akan diambil setelah filter *downsampling* sebanyak 4 di awal data. Susunan data yang ditambahkan 0 ini bisa dilihat pada gambar 3.12



Gambar 3.12 Penempatan 0 sebelum filter

Karena TMS320C6416 hanya bisa membaca data yang real, maka ada cara tertentu untuk mendapatkan nilai real tersebut dengan memperhitungkan nilai imajinernya juga. Cara ini salah satunya adalah dengan modulator [6]. Modulator ini juga menghasilkan respon sinyal pada passband. Konsep modulator ini bisa dilihat pada gambar 3.13 dimana dibangkitkan suatu sinyal sinus dengan frekuensi modulasi dan waktu sample tertentu pada sistem dan dengan fase yang berbeda 90 derajat untuk komponen real dan imajinernya lalu dijadikan real semua dan ditambahkan lalu dipancarkan.



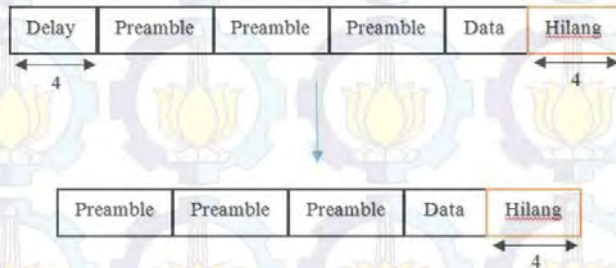
Gambar 3.13 Konsep Kerja Modulator[6]

Untuk penentuan frekuensi modulasi, waktu sample dan *sample per frame* pada modulator ini harus cermat karena jika salah, maka sistem akan berantakan dan BER tinggi. Untuk hal ini, frekuensi modulasi merupakan $\frac{1}{4}$ kali frekuensi sample yaitu 12000Hz karena frekuensi sample pada speaker yaitu 48000Hz. Waktu sample 0.01/banyaknya frame yang masuk pada modulator, hal ini disebabkan jika tidak satu frame yang masuk ke modulator, frame keluaran demodulator jauh berbeda dengan modulator. Maka dari itu dibutuhkan buffer sebelum modulator untuk mengatur berapa data yang masuk. Banyaknya frame yang masuk ditentukan oleh panjangnya data dalam satu pengiriman.

Kebalikanya yaitu demodulator yang konsep kerjanya sama dengan modulator. Demodulator ini mengembalikan nilai imajiner yang tadinya dijadikan real dan ditambah dengan nilai real sebenarnya pada

modulator. Namun sebelumnya data dilewatkan pada kanal akustik yakni dalam hal ini suara di udara yang dikeluarkan oleh *speaker* dan diterima oleh *microphone* yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut.

Selanjutnya sebelum memasuki filter *root raised cosine* untuk *downsampling* dan pengembalian ke *baseband*, maka diperlukan buffer untuk mengembalikan banyaknya data yang masuk ke dalam filter tersebut. Pada filter *downsampling* ini, spesifikasinya sama dengan filter *upsampling*. Setelah proses ini ditemukan bahwa terdapat delay pada 4 awal dan 4 akhir menghilang. Untuk mengatasi hal itu, sebelumnya sudah dijelaskan bahwa ada penambahan 0 sebelum masuk ke filter. Pada proses ini, 0 tersebut akan hilang dan digantikan dengan delay 4 yang berada di awal data seperti yang terlihat pada gambar 3.14. Delay ini nantinya akan dipotong dan data kembali seperti semula



Gambar 3.14 Blok diagram skema perbaikan delay

Setelah data kembali seperti semula, dilanjutkan dengan mengubahnya menjadi paralel seperti pada pengirim persis dengan proses pada gambar 3.6. Sebelumnya telah ditambahkan cyclic prefix sebagai perbaikan data jika ada yang terpotong. Dalam hal ini cyclic prefix dibuang sesuai subcarrier masing – masing.

Setelah dibuang, dilanjutkan ke proses FFT sesuai subcarrier masing – masing. Setelah FFT selesai, untuk mengembalikan nilai data seperti modulasi QPSK maka dibutuhkan prediksi data dari preamble. Sebelumnya 0 yang ditambahkan sebelum IFFT dan *preamble* yang ditambahkan setelah subcarrier bergabung dengan pilot akan dibuang pada proses ini. Input dari prediksi data ini adalah satu frame preamble yang diterima (u) dan satu frame preamble yang semula dikirim (v) dengan persamaan:

$$y = \frac{\bar{x}^{T*}}{|\bar{x}^T|^2} \quad (3.1)$$

Dimana,

$$x = \frac{u}{v} \quad (3.2)$$

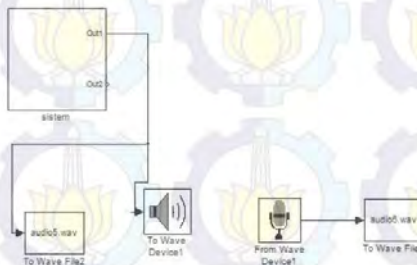
Blok diagram realisasi prediksi ini bisa dilihat pada lampiran C. Paralel menjadi serial juga akan terjadi dalam proses ini. Setelah proses deteksi ini, proses selanjutnya adalah pengambilan pilot. Frame yang telah menjadi serial ini akan diambil pilotnya dan akan didemodulasi QPSK kembali.

3.2 Skenario Pengukuran

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa tugas akhir ini diuji coba dalam kanal akustik dalam hal ini adalah speaker dan microphone di udara. Untuk mengukur BER dan menganalisa sistem, maka dibuatlah skenario pengukuran untuk simulasi dengan kanal akustik, dan implementasi dengan TMS320C6416 di pengirim.

3.2.1 Simulasi pada MATLAB Simulink

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa diantara modulator dan demodulator terdapat kanal bawah air. Dalam hal ini setelah modulator, data akan diubah menjadi suara yang nantinya dipancarkan oleh speaker, serta data ini akan disimpan dalam suatu audio *file*. Lalu akan direkam menggunakan *microphone* yang hasilnya akan direkam dalam suatu *file* audio juga. Implementasi program ini bisa dilihat pada gambar 3.15



Gambar 3.15 Program untuk simulasi Simulink

Program sistem pada gambar 3.15 bisa dilihat selengkapnya pada lampiran C gambar 5.1 dimana program untuk simulasi dilampirkan.

Dalam audio *file* dari pengirim dan penerima bisa diidentifikasi dimana data yang paling mirip berada dengan melihat fungsi stem dari masing – masing audio file. Setelah diidentifikasi bagian mana yang paling mirip dengan yang dikirim, bagian tersebut dipotong dan akan diolah di penerima. Program untuk mengolah file yang telah dipotong tersebut ada di lampiran C pada gambar 5.5 dimana penerima secara umum dilampirkan.

Untuk jarak antara *microphone* dan speaker, penentuan dilakukan dengan membangkitkan sinyal sinus dengan frekuensi 1200 Hz agar gelombang bisa terbaca dengan baik. Jarak dimana yang diterima mirip dengan yang dikirim, itulah jarak pengukuran dengan menyesuaikan juga volume speaker, voume *microphone* dan *microphone boost* nya. Berikut merupakan spesifikasi speaker dan microphone pada komputer :

Tabel 3.2 Ketentuan perangkat keras untuk simulasi

Volume Speaker	51%
Volume Microphone	40%
Microphone boost	0%

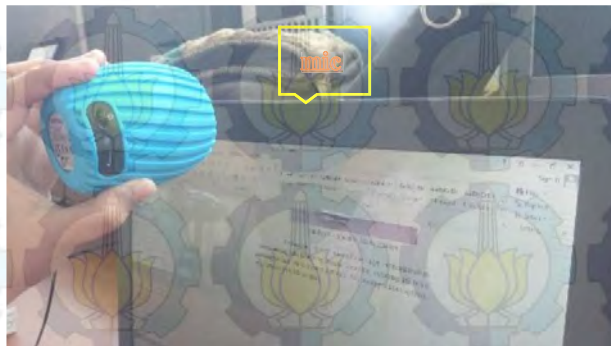
Penentuan frekuensi perangkat keras juga diperlukan untuk memudahkan normalisasi. Maka frekuensi perangkat keras yang dipilih adalah 16 bit 48000 Hz yang merupakan bilangan genap yang bisa dibagi dua seperti subcarrier dan merupakan setengah dari total frekuensi kerja TMS320C6416 yaitu 96000 Hz [4].

Jarak yang hasil diterimanya mirip dengan dikirim adalah 0,5 cm dan 4 cm. speaker yang digunakan adalah Philips *Sound Shooter*. Speaker mono dengan tegangan 2 Watt yang bekerja pada frekuensi 100 Hz – 18 KHz ini bisa dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Speaker Mono Philips

Sedangkan untuk *microphone* nya menggunakan internal microphone komputer, karena komputer sekarang ini tidak mempunyai *jack* untuk speaker dan mic. Jika menggunakan splitter, microphone nya tidak terbaca. Cara pengambilan suara bisa dilihat pada gambar 3.17



Gambar 3.17 pengambilan audio

Langkah – langkah pengujian untuk simulasi sebagai berikut :

1. Setel speaker pada computer untuk memancarkan suara
2. Siapkan program seperti pada lampiran C gambar 5.4

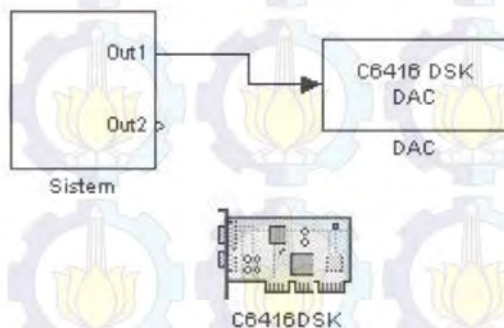
3. Speaker ditempatkan seperti pada gambar 3.17
4. Jalankan program dengan durasi 4 detik
5. Hasil rekaman suara disimpan dan diolah pada program penerima yang bisa dilihat pada lampiran C gambar 5.5

Parameter yang diharapkan dari skenario ini adalah munculnya nilai Bit Error Rate yang rendah.

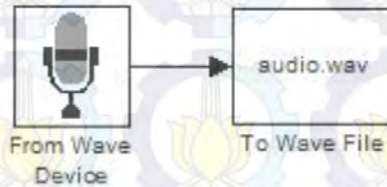
3.2.2 Implementasi pada TMS320C6416

Untuk spesifikasi perangkat keras yaitu tingkat volume dan speaker serta microphone yang dipakai sama dengan simulasi pada MATLAB Simulink. Perbedaannya adalah program yang akan diimplementasikan dan penempatan perangkat.

Untuk implemmtasi di TMS320C6416 menggunakan dua program. Program yang pertama berfungsi untuk mengeluarkan suara sistem dan program ini akan diimplemenasikan di TMS320C6416, program yang kedua berfungsi untuk menangkap suara dari sistem tersebut dan program ini berada di Simulink, tidak diimplementasikan. Untuk program yang mengeluarkan suara sistem bisa dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3.18 Implementasi pada TMS320C6416



Gambar 3.19 Program untuk menangkap suara implementasi

Program pada gambar 3.18 mempunyai durasi yang lebih sedikit daripada program pada gambar 3.19. hal ini bertujuan untuk mendapatkan data mana yang baik dan akan dipotong karena dua program ini terpisah dan menangkap data dengan waktu yang berbeda.

Langkah – langkah pengujian pada implementasi menggunakan TMS320C6416 sebagai berikut :

1. Pasang TMS320C6416 pada komputer pengguna dengan cara sambungkan kabel USB TMS pada komputer seperti pada gambar 3.20
2. Operasikan TMS320C6416 seperti pada lampiran A
3. Sambungkan speaker ke headphone TMS320C6416 seperti pada gambar 3.20
4. Tentukan jarak speaker dan microphone terlebih dahulu.
5. Jalankan program gambar 3.19 dengan durasi 8 detik.
6. Jalankan program gambar 3.18 pada TMS320C6416 dengan cara klik *incremental build* pada Simulink
7. Hasil rekaman suara akan diolah pada program lampiran C gambar 5.5

Untuk integrasi DAC dan TMS320C6416 terdapat pada lampiran B. Penentuan jarak juga sama dengan Simulasi. Speaker akan dihubungkan dengan *Headphone* TMS320C6416

dan akan mengeluarkan suara yang nantinya ditangkap oleh internal *microphone*.



Gambar 3.20 Implementasi pada TMS320C6416

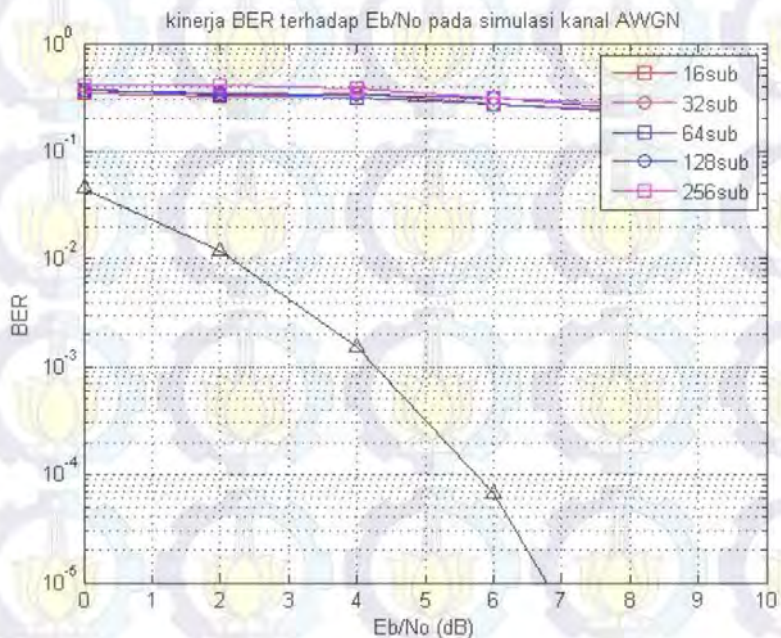
BAB 4

PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISIS SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa sistem pada berbagai kondisi : Simulasi dan Implementasi. Namun, data yang bisa dianalisa hanya di pengirim. Hal ini disebabkan karena BER yang terlalu tinggi serta normalisasi yang tidak berjalan lancar sehingga sistem penerima tidak bisa dianalisa.

4.1 Analisa Sistem OFDM pada Simulasi

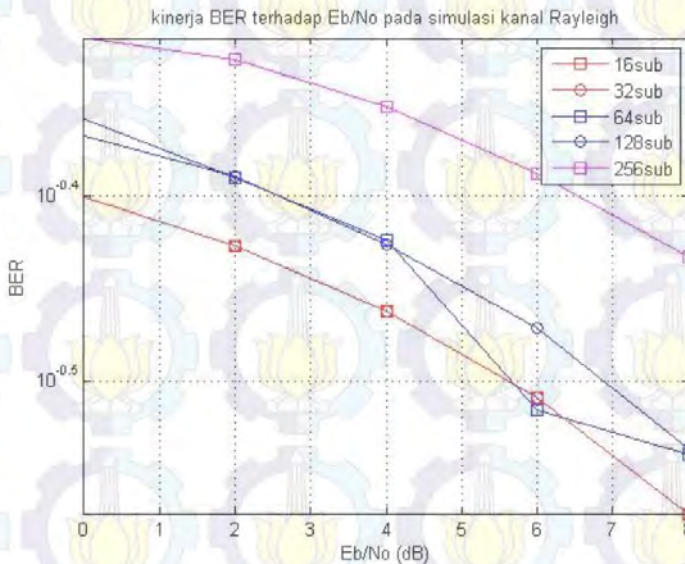
Analisa terlebih dahulu menggunakan Simulasi dengan kanal AWGN dan Rayleigh untuk melihat performansi sistem yang dibuat. Parameter yang dilihat pada simulasi ini adalah nilai BER terhadap E_b/N_0 dengan subcarrier yang berbeda.



Gambar 4.1 Kinerja BER terhadap E_b/N_0 pada kanal AWGN di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.1 bahwa hasil sistem yang dibuat mempunyai nilai BER lebih besar daripada teori dimana teori digambarkan pada kurva berwarna hitam. Hal ini disebabkan karena belum adanya teknik deteksi data yang lebih baik seperti estimasi kanal dan sinkronisasi fasa dan carrier agar data yang diterima menyerupai data yang dikirim.

Kanal bawah air bisa dimodelkan dengan kanal Rayleigh karena karakteristik multipath yang hampir sama. Pada gambar 4.2 bisa dilihat nilai BER pada subcarrier tertentu di kanal Rayleigh.



Gambar 4.2 Kinerja BER terhadap E_b/N_0 pada kanal Rayleigh di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.2 bahwa BER pada kanal Rayleigh lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN. Hal ini membuat kinerja sistem yang dibuat belum baik sehingga belum bisa mengatasi *fading*. Kinerja pada masing – masing subcarrier juga belum baik, hal ini

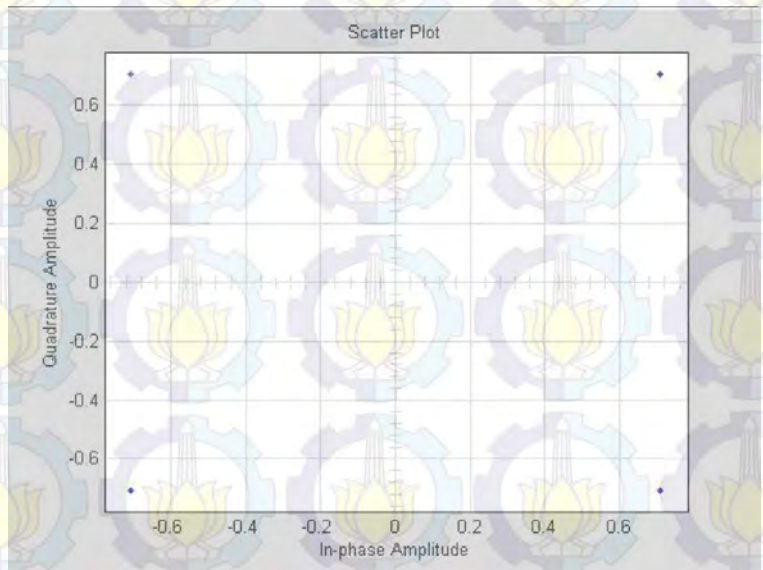
dibuktikan dengan makin banyaknya subcarrier maka tidak makin banyak BER yang tercatat.

4.2 Analisa Sistem OFDM pada Kanal Bawah Air dengan Simulink

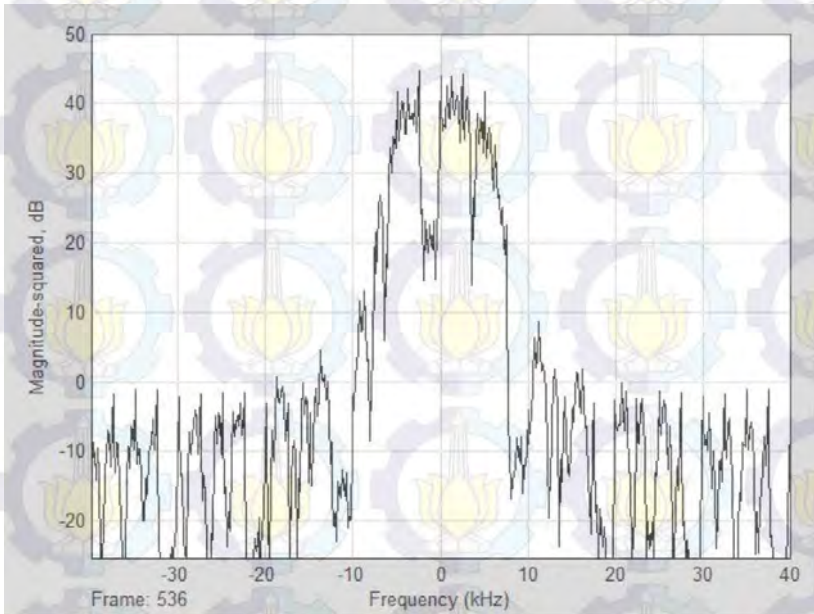
Analisa sistem dilakukan dengan melihat spektrum dari sinyal *Baseband* dan *Bandpass*, serta melihat konstelasinya dan BER nya meskipun BER sangat tinggi. Analisa ini diambil pada saat simulasi dan implementasi. Hasil gambar pengirim pada simulasi dan implementasi sama, sehingga yang ditampilkan hanyalah hasil simulasi.

4.2.1 16 Subcarrier

Pada subcarrier 16, dilihat konstelasi pengirim yaitu sesudah modulasi QPSK. Pada gambar 4.1 ada empat titik pada kuadran satu, dua, tiga dan empat yang masing – masing bernilai 0.7071 yang sesuai dengan penjelasan pada bab 3 awal yaitu modulasi QPSK.



Gambar 4.3 Konstelasi Sistem Subcarrier 16 pengirim

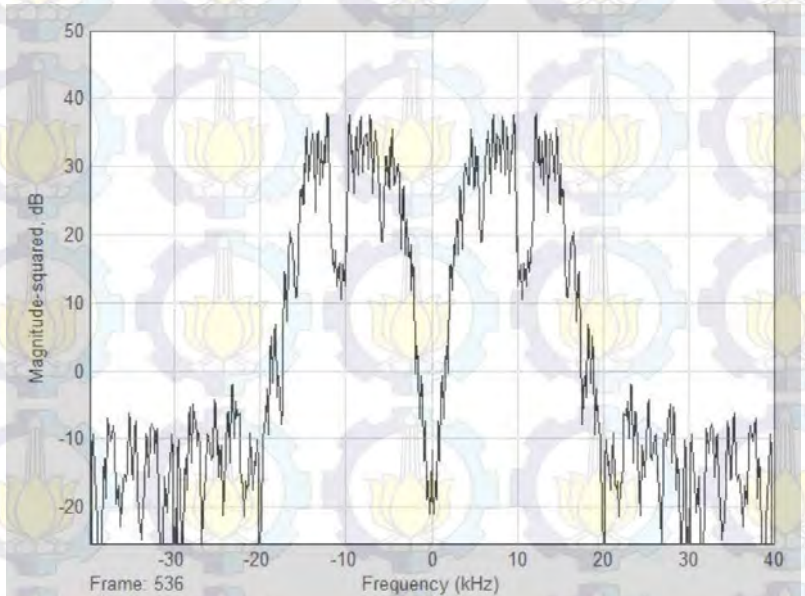


Gambar 4.4 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 16 Pengirim

Perhitunganya dilakukan dengan cara membagi durasi waktu tersebut yaitu 10 ms menjadi 10 KHz. Maka *bandwidth* per subcarriernya adalah 10 KHz. Dari gambar 4.2 bisa dihitung bandwidth total sistem. Yaitu dengan mengalikan total subcarrier dengan bandwidth per subcarriernya. Maka hasilnya adalah 160 KHz. Bandwidth ini masih ada di dalam jangkauan komunikasi bawah air.

Selanjutnya akan dianalisa sinyal bandpass pengirim yaitu sinyal sesudah modulator. Spectrum frekuensi hasil modulator memperlihatkan pola bandpass dari sistem seperti pada gambar 4.3

Respon impuls yang didapatkan seperti pada gambar 4.2 dimana nilai puncak bukan nilai maksimum disebabkan oleh filter yang digunakan. Jika menggunakan Low Pass Filter hasilnya lebih halus namun data menjadi acak.



Gambar 4.5 Spektrum Frekuensi Bandpass Subcarrier 16 Pengirim

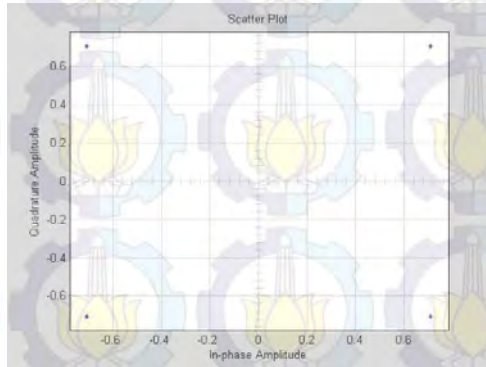
Pada gambar 4.3, sinyal bergeser sebanyak 10 KHz dalam jarak frekuensi yang sama dengan sinyal *baseband* seperti pada gambar 4.3. Sinyal ini yang nantinya akan dilewatkan ke kanal bawah air yang telah dijelaskan pada subab 3.2.

Selanjutnya BER untuk jarak 0,5 cm adalah 0.511, sedangkan untuk jarak 4 cm adalah 0.511 juga sama dengan jarak 0,5 cm.

4.2.2 32 Subcarrier

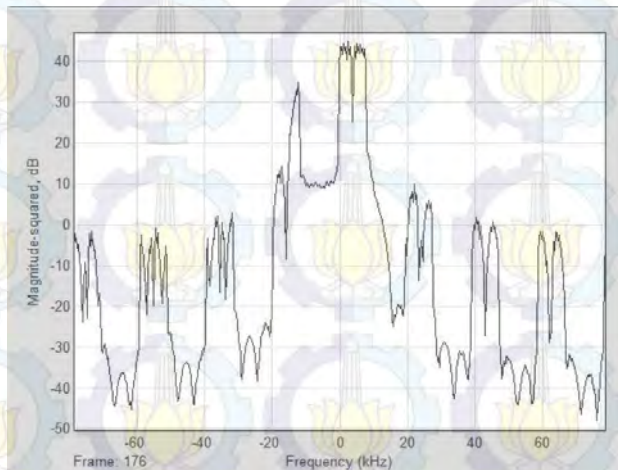
Pada subcarrier 32, dilihat konstelasi sesudah modulasi QPSK seperti halnya pada subcarrier 16. Bisa dilihat pada gambar 4.4 yang merupakan konstelasi subcarrier 32 dan sesuai dengan konsep yang telah dijelaskan pada bab 3.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

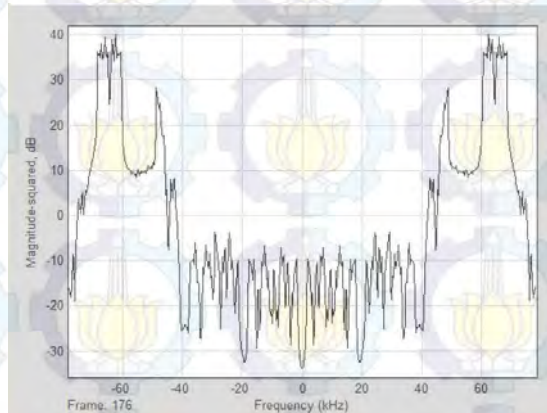


Gambar 4.6 Konstelasi Sistem Subcarrier 32 pengirim

Untuk subcarrier 32 ini, dianalisa spektrum frekuensi sesudah sinyal memasuki filter *root raised cosine*. Berbeda dengan subcarrier 16, spektrum frekuensi subcarrier 32 yang bisa dilihat pada gambar 4.5 mempunyai bandwidth subcarrier yang lebih besar.



Gambar 4.7 Spektrum Frekuensi Baseband Subcarrier 32 Pengirim



Gambar 4.8 Spektrum Frekuensi Passband Subcarrier 32

Dari gambar 4.5 bisa dihitung bandwidth per subcarriernya. Bandwidth per subcarrier diketahui 20 KHz dan banyaknya subcarrier adalah 32. Maka bandwidth total adalah 640 KHz. Selanjutnya akan dianalisa sinyal passband dari subcarrier 32 yang bisa dilihat pada gambar 4.6

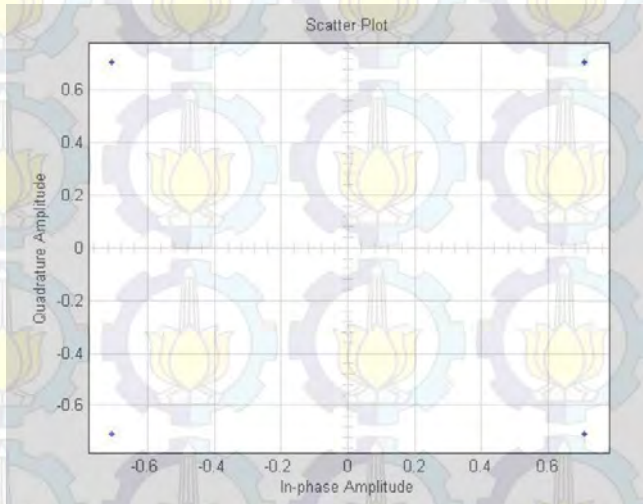
Dari gambar 4.6 bisa dilihat bahwa spektrum bergeser sebanyak 40 KHz dengan besarnya gelombang sama dengan spektrum frekuensi baseband. Sinyal passband ini nantinya akan dilewatkan pada kanal bawah air.

BER pada subcarrier 32 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0,5057 sedangkan untuk jarak 4 cm adalah sama yaitu 0,5057.

4.2.3 64 Subcarrier

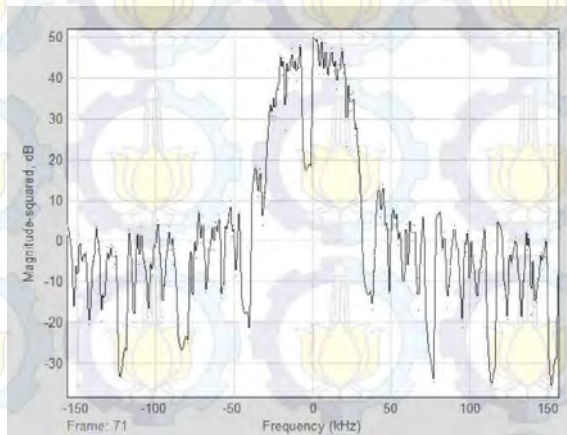
Pada subcarrier 64 ini dianalisa dahulu konstelasi setelah modulasi QPSK yang bisa dilihat pada gambar 4.7 yang sesuai dengan konsep pada bab 3 sebelumnya.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini. Sinyal pada implementasi juga sama dengan simulasi, hal ini disebabkan karena tempat menjalankannya yang sama yaitu Simulink.

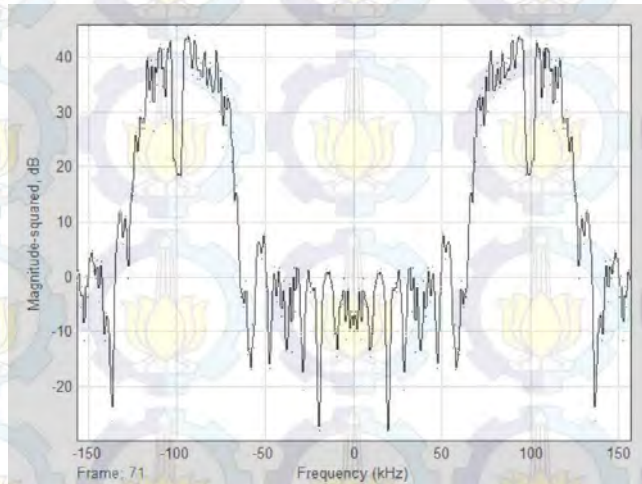


Gambar 4.9 Konstelasi sistem subcarrier 64 pengirim

Selanjutnya akan dianalisa spektrum frekuensi baseband dari subcarrier 64 ini. Hasil baseband ini diperoleh dari sinyal hasil filter *root raised cosine*. Spektrum frekuensi ini bisa dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.10 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 64



Gambar 4.11 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 64

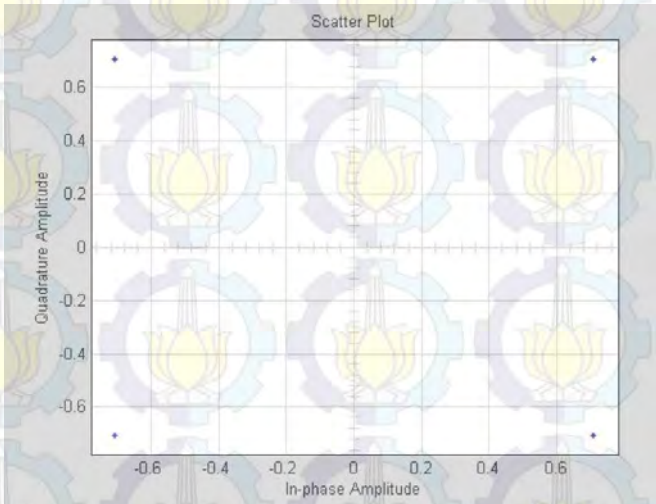
Setelah sinyal baseband ini, dianalisa sinyal passband pada domain frekuensi dimana diperoleh dari sinyal yang dilewatkan modulator seperti pada gambar 4.9. Sebelum itu, dari gambar 4.8 bisa dihitung bandwidth total subcarrier 64. Dimana bandwidth per subcarriernya adalah 50 KHz, maka bandwidth total adalah 3200 KHz.

Spektrum frekuensi bandpass ini bergeser sebanyak 50 KHz dengan bandwidth per subcarrier sama dengan baseband. Dihitung juga BER dari sistem subcarrier 64 ini. Untuk jarak 0,5 cm BER nya adalah 0.5004 sedangkan untuk jarak 4 cm juga sama yaitu 0.5004.

4.2.4 128 Subcarrier

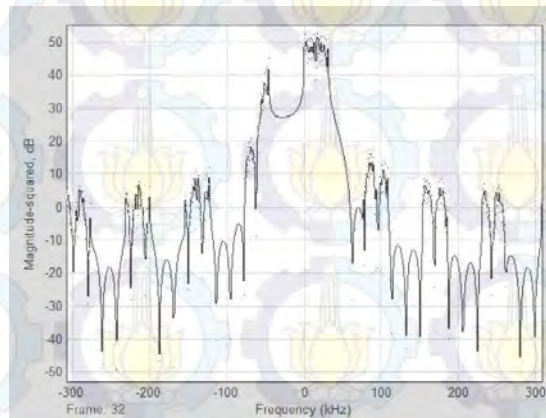
Untuk subcarrier 128 ini, dianalisa konstelasi pengirim setelah modulasi QPSK. Konstelasi ini bisa dilihat pada gambar 4.10 dan sesuai dengan konsep pada bab 3 yang telah dijelaskan sebelumnya.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

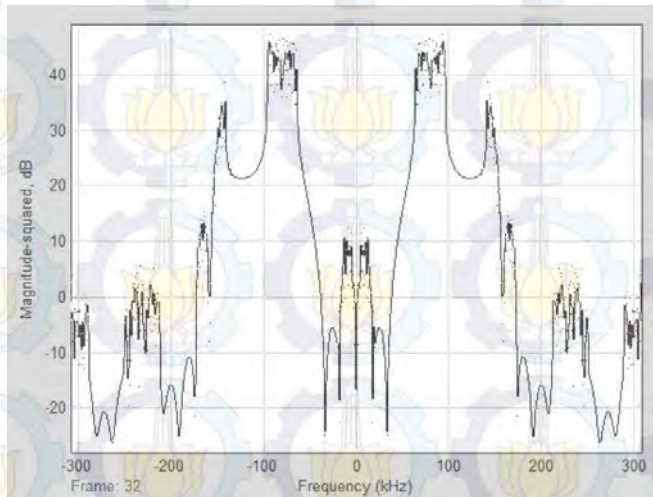


Gambar 4.12 Konstelasi sistem subcarrier 128 pengirim

Setelah analisa konstelasi, dilanjutkan analisa sinyal baseband pada domain frekuensi yang diperoleh dari sinyal sesudah memasuki filter root raised cosine yang bisa dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.13 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 128 pengirim



Gambar 4.14 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 128 pengirim

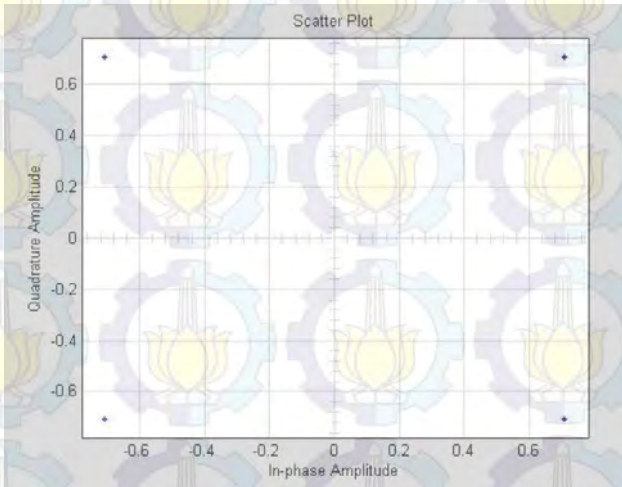
Dari gambar 4.11 bisa didapatkan bandwidth per subcarriernya yaitu 70 KHz. Dari bandwidth per subcarrier ini juga bisa dihitung bandwidth totalnya, yaitu 8960 KHz. Sedangkan untuk spektrum bandpassnya bisa dilihat pada gambar 4.12

Bisa dilihat pada gambar 4.12 bahwa sinyal bergeser sedikit dengan frekuensi tengah 100 KHz dengan bandwidth per subcarriernya sama dengan baseband. Untuk BER pada subcarrier 128 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0.5007 sedangkan untuk jarak 4 cm adalah 0.5005

4.2.5 256 Subcarrier

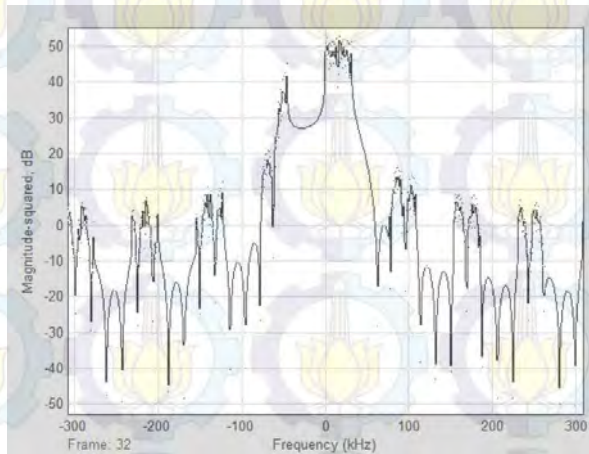
Pada subcarrier 256 ini, dilihat dan dianalisa konstelasi setelah sinyal masuk ke modulasi QPSK. Kosntelasi ini sesuai dengan yang dijelaskan pada bab 3 sebelumnya dan konstelasi ini bisa dilihat pada gambar 4.13

Seperti yang telah dijelaskan bahwa konstelasi pada penerima tidak bisa dianalisa sehingga tidak dimunculkan dalam bab ini.

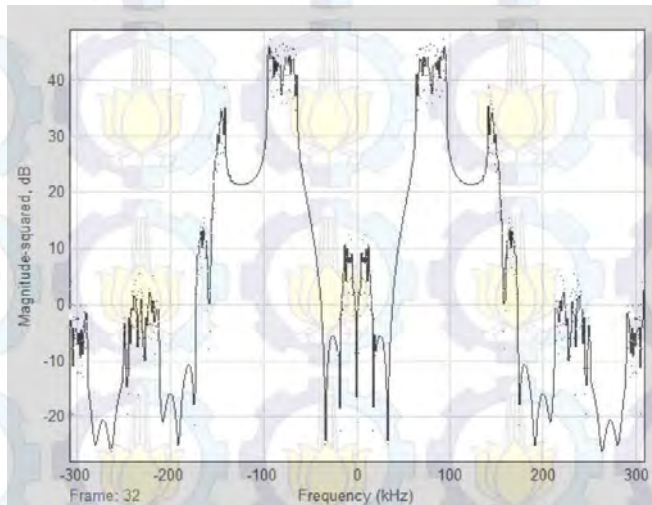


Gambar 4.15 Kosntelasi sistem subcarrier 256 pengirim

Setelah konstelasi dianalisa, selanjutnya akan dilihat sinyal baseband setelah filter root raised cosine. Sinyal ini dianalisa dalam domain frekuensi yang bisa dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.16 Spektrum frekuensi baseband subcarrier 256 pengirim



Gambar 4.17 Spektrum frekuensi bandpass subcarrier 256

Terlihat pada gambar 4.14 bahwa bandwidth per subcarriernya sama dengan subcarrier 128, yaitu 70 KHz. Namun mempunyai bandwidth total yang berbeda yaitu 17920 KHz. Untuk spektrum frekuensi bandpass bisa dilihat pada gambar 4.15

Hampir sama dengan sinyal baseband sebelumnya bahwa pada sinyal bandpass 256 ini sama dengan subcarrier 128. Sinyal bandpass bergeser dimana frekuensi tengahnya menjadi 100 KHz. Untuk BER subcarrier 256 ini pada jarak 0,5 cm adalah 0.5028 sedangkan untuk 4 cm adalah 0.5115.

4.3 Analisa Sistem OFDM pada TMS320C6416

Analisa ini dilakukan sesuai dengan skenario pengukuran yang telah dijelaskan pada sub bab 3.2.2 sebelumnya. Dalam hal ini yang dianalisa hanyalah pengirim karena BER yang sangat tinggi tidak memungkinkan untuk analisa penerima.

Hal ini disebabkan karena sinyal penerima tidak mempunyai pola yang sama dengan sinyal yang dikirim, sehingga jika dilihat dari tiap titik, probabilitas besar BER dapat dilihat pada tabel 4.1

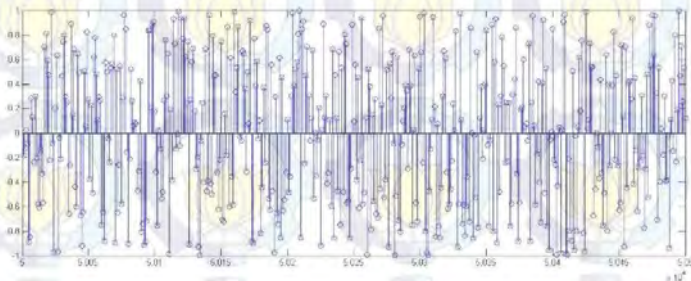
Tabel 4.1 Bit Error Rate masing – masing subcarrier pada implementasi

Subcarrier	0,5 cm	4cm
16	0,5078	0,5148
32	0,5065	0,5065
64	0,4988	0,5005
128	0,5105	0,5008
256	0,5028	0,5048

Penyebab BER yang besar ini masih belum dapat diketahui lebih jelas sehingga perlu diteiti lebih lanjut.

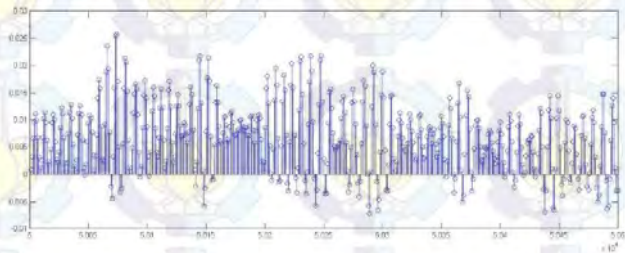
4.4 Analisa Kanal Bawah Air

Masalah yang belum terselesaikan adalah bagaimana cara menyesuaikan phase dan mencari titik saturasi yang benar pada kanal bawah air. Selama pengukuran ini yang terjadi adalah hasil yang diterima microphone sama sekali tidak sama dengan yang dipancarkan speaker. Contoh sinyal yang dikirim bisa dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.18 Sinyal yang dipancarkan speaker

Bila pada sinyal penerima diambil pada jarak matrix yang sama, maka amplitudo dan fase juga berbeda jauh. Bahkan, sebagian besar tidak terekam dengan baik atau disaturasikan oleh microphone tersebut. Sinyal pada penerima bisa dilihat pada gambar 4.17.

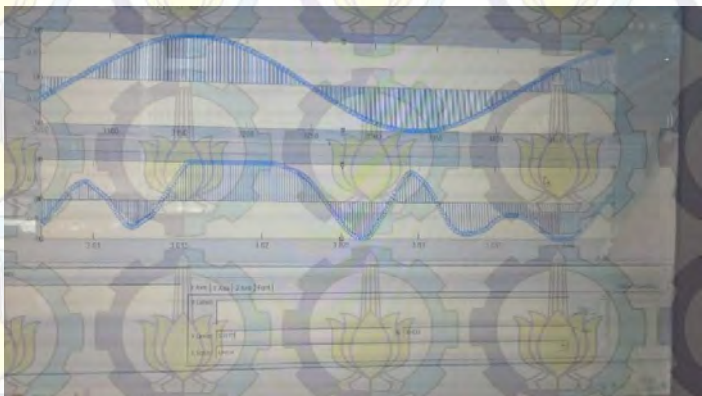


Gambar 4.19 Sinyal yang diterima speaker pada simulasi Simulink MATLAB

Untuk mengatasi hal ini, pertama yang dilakukan adalah membangkitkan sinyal sinus biasa pada Simulink dan menormalisasikan sinyal agar hasil hampir sesuai dengan yang dikirim. Perbandingan sinyal sinus yang dikirim dengan yang diterima bisa dilihat pada gambar 4.18

Gambar 4.18 merupakan gambar yang paling mendekati dari semua sinyal sinus yang dibangkitkan. Dari sini dicoba untuk menganalisis suatu sinyal lain yang mengakibatkan terdistorsi seperti gambar dengan analisis matematis.

Namun, analisis ini tidak berhasil karena titik – titik yang ditemukan merupakan sebagian kecil dari sinyal terdistorsi tersebut yang tidak menggambarkan keseluruhan sinyal.



Gambar 4.20 perbandingan sinyal sinus yang dikirim dan diterima

Selanjutnya adalah melakukan perubahan pada frekuensi modulasi sistem untuk menyesuaikan frekuensi keluaran dari speaker yaitu minimum 44100 Hz. Dengan 16 sample dari 44100 Hz, maka ditentukan frekuensi carriernya adalah 2756,25 Hz dengan waktu sample $1/44100$ Hz. Sinyal ini dibangkitkan dengan menggunakan Simulink MATLAB. Namun hal ini jika diimplementasikan pada sistem ideal tidak cocok dan mengakibatkan BER yang masih tinggi.

Usaha terakhir adalah dengan mengubah sistem secara keseluruhan, mulai dari penempatan nol, hingga penempatan preamble. Pemilihan frekuensi juga berbeda dengan yang sebelumnya. Untuk subcarrier 64, dipilih frekuensi carrier 6000 Hz yang berasal dari 48000 Hz dibagi 8 sample. Setelah itu diusahakan frekuensi dari OFDM sesuai dengan frekuensi carrier tersebut. Akhirnya ditentukan bahwa waktu sample terbaik untuk mendekati frekuensi carrier adalah $1/60000$.

Namun hal ini tidak berhasil karena ketika sistem tersebut diuji coba menggunakan speaker dan microphone, suaranya tidak keluar. Walaupun menaikkan amplitudo sistem hingga 100 kali tetap tidak mengeluarkan suara.

BAB 5 PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang proses, hasil pengujian dan cara pengukuran telah dibuat. Saran pada bab ini juga diperlukan demi kelancaran penelitian sistem komunikasi bawah air selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Proses penghitungan dan penentuan frekuensi pada Modulator dan Demodulator sangat penting dalam perancangan sistem hal ini berpengaruh pada nilai data yang masuk dengan yang keluar tidak sama karena tidak satu gelombang
2. Sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik karena belum adanya sinkronisasi antar frame serta estimasi kanal.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik adalah :

1. Proses normalisasi harus dilakukan lebih dalam lagi agar sistem yang dibuat bekerja dengan baik.
2. Menggunakan perangkat lunak terbaru untuk mengidentifikasi karakter dari TMS320C6416 supaya *library* yang baru bisa teridentifikasi dan mempermudah penelitian.
3. Adanya standar yang lebih tepat untuk komunikasi bawah air agar hasilnya pun lebih tepat

LAMPIRAN

A. Instalasi dan Deteksi Perangkat Lunak

Setelah TMS320C6416 sudah dipasang di komputer, buka *software 6416DSK Diagnostic Utility v3.1* seperti pada gambar 3.1. Tampilan pada perangkat lunak tersebut mula – mula adalah IDLE. Dari sinilah pilih start untuk memulai pengecekan alat.



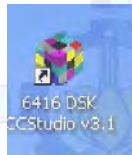
Gambar 3.1 *Shorcut 6416DSK Diagnostic Utility v3.1*

Proses pengecekan selesai bila mode IDLE berubah menjadi PASS seperti pada gambar 3.2 dan lampu LED di sebelah kiri semua berwarna hijau. Jika FAIL dan lampu LED berwarna merah, maka harus mengulang dari awal yaitu pilih *start*. Pastikan koneksi USB dari TMS320C6416 ke komputer telah benar, serta pastikan tidak ada program yang ada di dalam alat tersebut. Ini mempengaruhi pengecekan perangkat lunak.



Gambar 3.2 *Tampilan PASS 6416DSK Diagnostic Utility v3.1*

Selanjutnya buka CCS Studio v3.1 seperti pada gambar 3.3, lalu pilih *debug* → *connect* untuk mengkoneksikan alat dengan komputer.



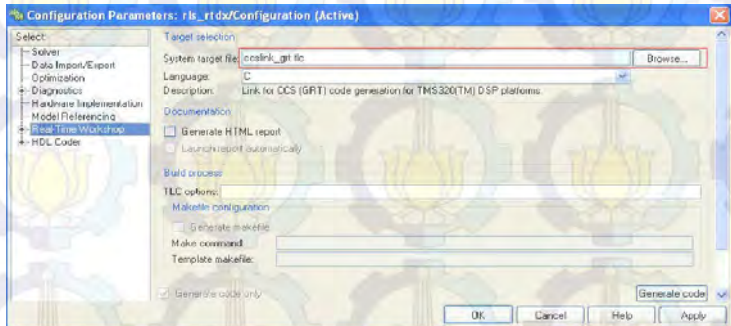
Gambar 3.3 6416 DSK CCS Studio v3.1

Setelah alat terkoneksi dengan komputer yang ditandai dengan adanya HALTED di kiri bawah CCS Studio v3.1, maka telah selesai proses instalasi dan deteksi perangkat. Jika belum HALTED, maka proses bisa diulang kembali atau mengulang dari DSK Utility.

B. Integrasi MATLAB Simulink dengan CCS v3.1

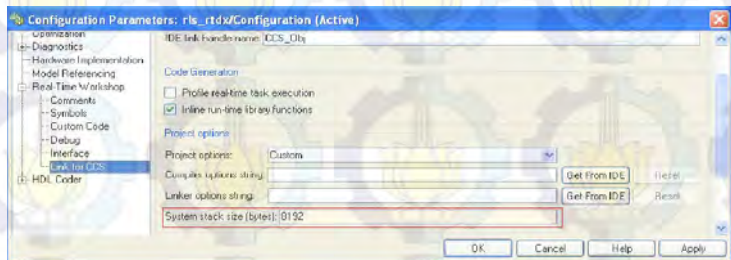
Langkah berikutnya, Mengintegrasikan Simulink dengan CCS v3.1 sehingga nantinya blok sistem yang sudah dibuat di Simulink dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. Pada Tugas Akhir ini digunakan Matlab versi R2007a karena *software* CCS v3.1 hanya dapat terintegrasi dengan Matlab versi R2007a kebawah. Untuk dapat *build* sistem ke dalam *DSK board* diperlukan beberapa pengaturan konfigurasi yang dapat diakses pada menu *Simulation* kemudian dipilih *Configuration Parameter*. Beberapa parameter yang harus diatur sebagai berikut :

1. Pada bagian *Real Time Workshop*, *System target file* pada *Target selection* diubah menjadi *ccslink_grt.tlc*. Hal ini bertujuan untuk menghubungkan antara Simulink dengan CCS.



Gambar 3.7 Pengaturan system target file

2. Untuk bagian *Link for CCS*, untuk bagian *Project options*, ubah *system stack size* menjadi 8192 bytes. Nilai ini disesuaikan dengan maksimum *stack size* pada DSK board.



Gambar 3.8 Pengaturan sistem stack size

3. Bagian *Debug*, tandai pilihan *Verbose Build Mode* untuk menampilkan proses pembentukan kode-kode dari file Simulink untuk memprogram DSK yang ditampilkan pada *Matlab Command Windows* seperti pada Gambar 3.9.



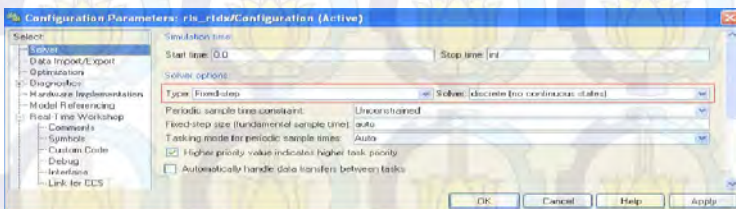
Gambar 3.9 Pengaturan *build process*

4. Bagian *Optimization*, pada *Simulation and code generation*, tanda centang pada *block reduction* dan *implement logic signal as boolean data* dihilangkan. Tujuannya agar Simulink tidak menterjemahkan blok-blok yang tidak terpakai untuk diubah dalam bahasa C. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pengaturan *simulation and code generation*

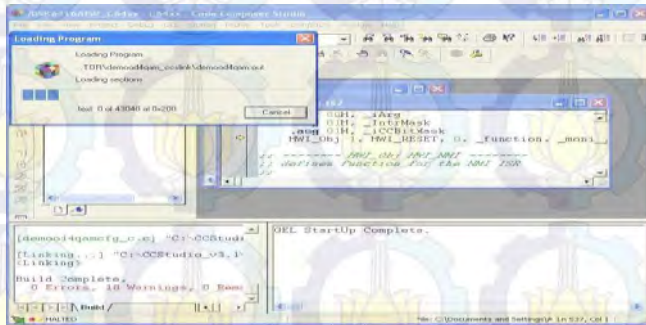
5. Pada bagian *Solver*, pilih *Type: Fixed-step* dan *Solver: discrete (no continuous states)* agar sistem bekerja secara diskrit.



Gambar 3.11 Pengaturan *solver options*

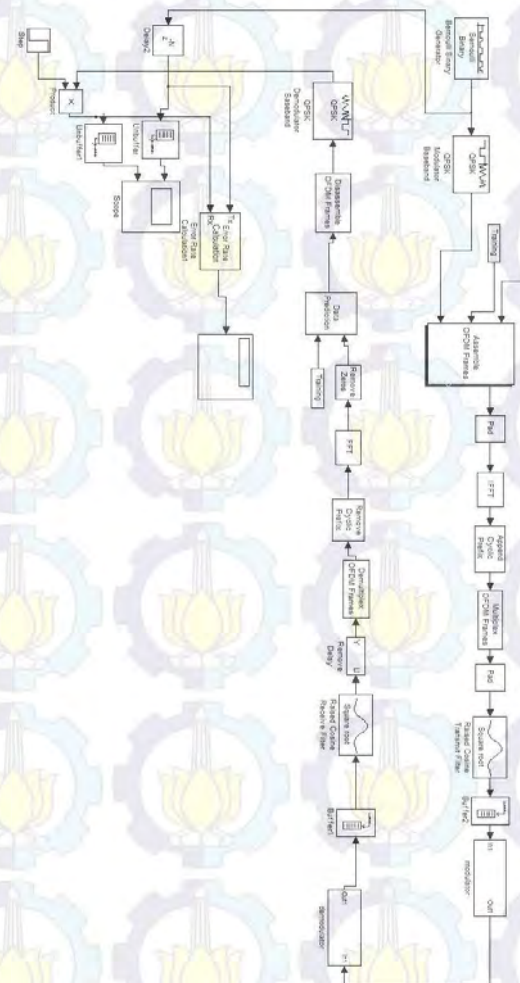
Selanjutnya, Untuk mengimplementasikan sistem yang sudah dibuat di simulink ke dalam DSK TMS320C6416T, klik *toolbar*

“incremental build” pada simulink. Jika tidak terjadi *error*, secara otomatis simulink akan membangkitkan kode-kode program dan terhubung ke *Code Composer Studio v3.1* untuk mengubah *file* simulink menjadi *file project CCS (*.pj)* yang dimuat ke dalam DSK TMS320C6416T. Proses tersebut dapat dilihat pada CCS dengan tampilan seperti gambar dibawah ini.

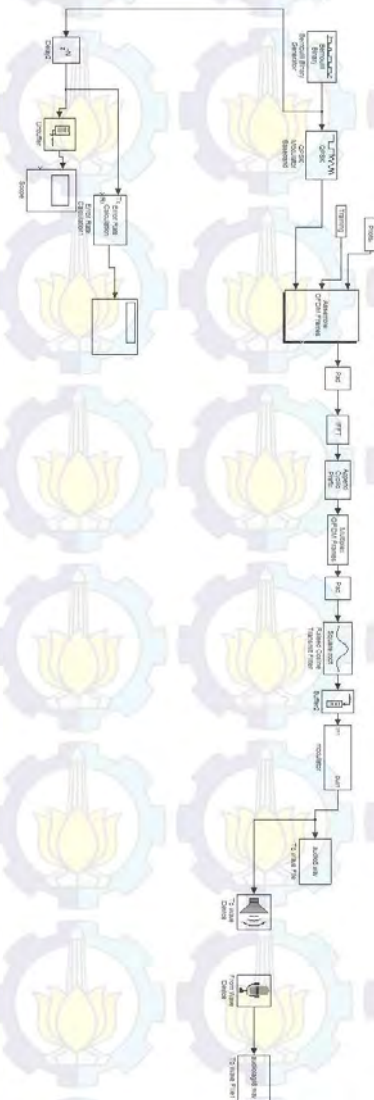


Gambar 3.12 Proses *building system* ke dalam DSK

5.3 Blok diagram sistem secara umum

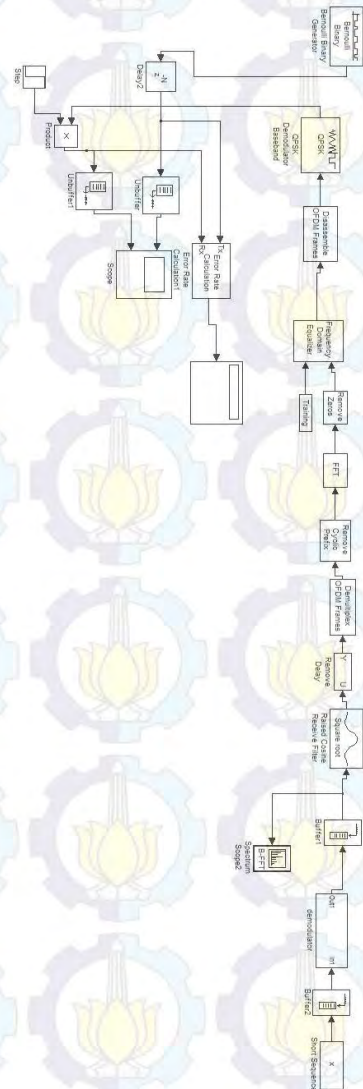


5.4 Blok diagram sistem pemancar simulasi



5.5

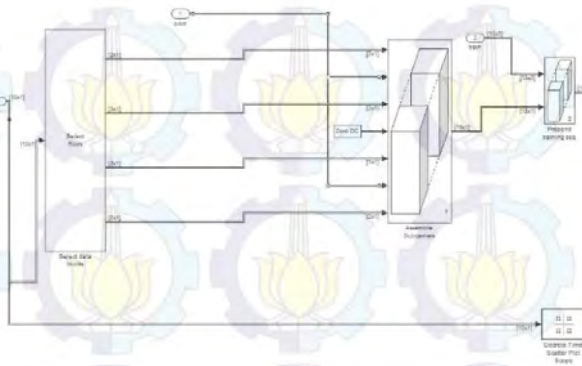
Blok diagram sistem penerima simulasi



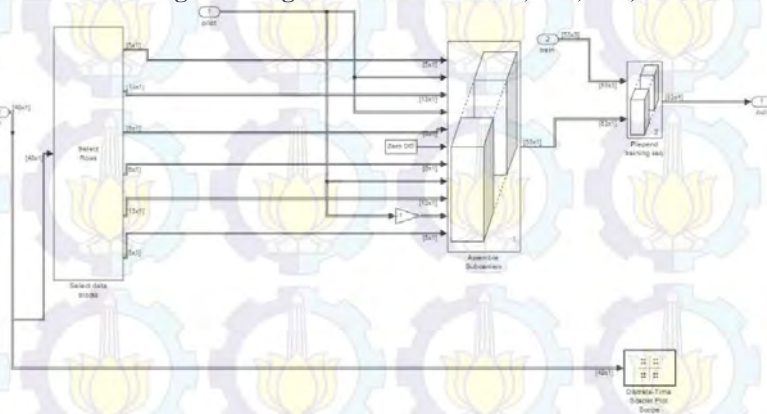
5.6 Blok diagram sistem pemancar implementasi



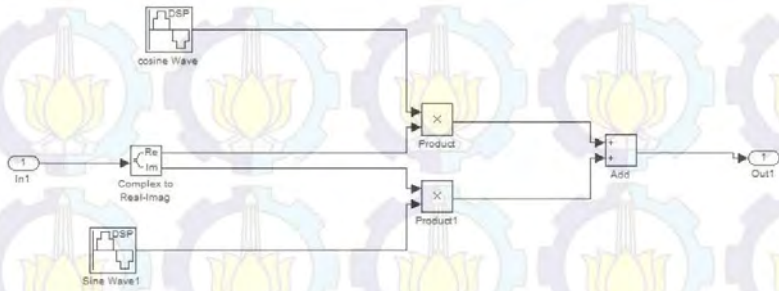
5.7 Blok diagram rangkaian Subcarrier 16, 32



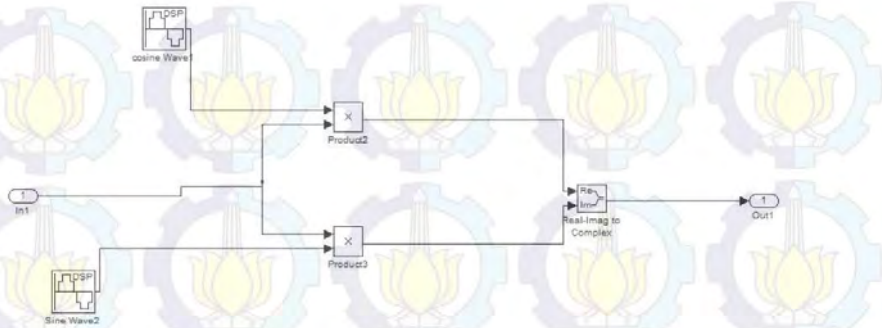
5.8 Blok diagram rangkaian Subcarrier 64, 128, 256, 512



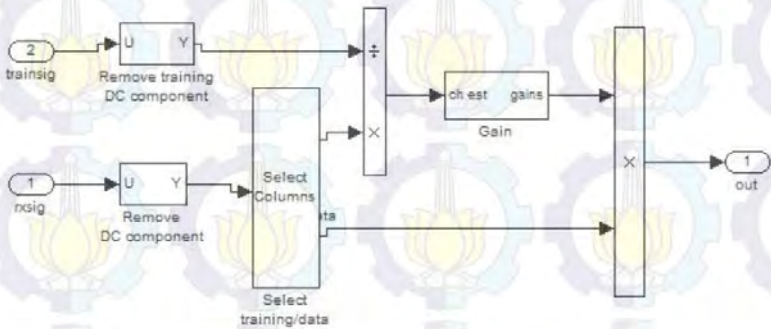
5.9 Blok diagram Modulator



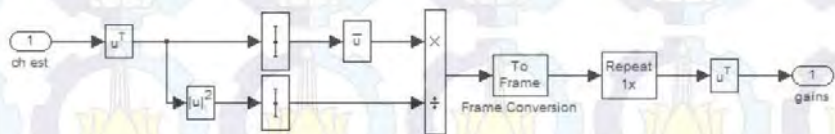
5.10 Blok diagram Demodulator



5.11 Blok diagram deteksi data



5.12 Blok diagram Gain



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ian F, Akyildiz, "*Wireless Sensor Networks*", Wiley, 2011, pp. 400 – 416
- [2] Hai ,Yan, "*DSP based receiver implementation for OFDM acoustic modems*", Elsevier Journal of Physical Communication, 2011
- [3] Yuandhika, Adhi, "Implementasi Modem Akustik OFDM pada TMS320C6416", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011, pp 57-75
- [4] Chassing, Rulph, "*Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK*", Wiley, 2005, pp 1-7
- [5] Etter, Paul C., "*Underwater Acoustic Modeling and Simulation fourth edition*", CRC Press, 2013, pp 5-66
- [6] Cook, Jarrod, "*Ultra-Wideband Research and Implementation*", Senior Capstone Project, 2007
- [7] Proakis, G.J, Salehi, M., "*Digital Communications, Fifth Edition*", Mc Graw Hill, New York, Ch. 9, 2008
- [8] Zoltowski, M., "*Equations for the Raised Cosine and Square Root Raised Cosine Shapes*", URL: <https://engineering.purdue.edu/~ee538/SquareRootRaisedCosine.pdf>, 2014

BIOGRAFI PENULIS



Johanna Aprilia lahir di Jakarta, 14 April 1994. Bungsu dari 3 bersaudara ini telah menempuh pendidikan dasar di Jakarta yaitu yang terakhir adalah SMA Negeri 61 Jakarta hingga akhirnya sekarang berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknk Elektro, bidang studi Telekomunikasi Multimedia angkatan 2011. Penulis telah aktif sebagai asisten praktikum Dasar Sistem Telekomunikasi selama 2 periode terakhir dan juga praktikum Komunikasi Data selama 2 periode. Penulis juga pernah melakukan tugas proyek Desain Sistem Monitoring Rumah Kaca ITS menggunakan Jaringan Sensor Nirkabel.